

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" DIN TIMISOARA
FACULTATEA DE MECANICA

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ

r. Inv. 624.115

ulap 181 Lit. C

Dipl. ing. Reviczky-Levay Antoniu Stefan

***CONTRIBUTII LA IMBUNATATIREA
PERFORMANTELOR SISTEMELOR DE
AVANS AUTOMAT PENTRU MASINILE DE
PRELUCRARE PRIN ELECTROEROZIUNE***

Teza de doctorat

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducator stiintific:

Prof. dr. doc. st. ing. dhc. AUREL NANU

TIMISOARA
1998

INTRODUCERE.

Istoria zbuciumata a ultimului secol din mileniul al carui sfarsit este asa de aproape a fost motorul unor realizari tehnico stiintifice deosebite: triumful deplin al electricitatii, imblanzirea energiei nucleare , dezvoltarea exploziva a constructiei de masini, nasterea si dezvoltarea electronicii, a ciberneticii, a navigatiei aeriene si cosmice. Toate aceste realizari au contribuit la dezvoltarea ramurilor industriei prelucratoare, fiind in acelas timp si beneficiarele acesteia, in particular in domeniul prelucrarilor dimensionale, extrem de raspandite atat in ramura constructiei de masini cat si in acea al bunurilor de larg consum.

Printre procedeele moderne de prelucrare se numara si eroziunea electrica. Momentele de inceput ale aplicarii industriale ale acesteia pot fi localizate in perioada celui de al II-lea razboi mondial cand necesitatea de a fabrica armament din ce in ce mai "performant" a condus la elaborarea unor aliaje metalice cu caracteristici mecanice extrem de ridicate, greu sau imposibil de prelucrat prin mijloace conventionale. Astfel s-au nascut *tehnologiile neconventionale*, care, alaturi de eroziunea electrica cuprind si alte procedee de prelucrare cu energii concentrate - eroziunea chimica si electrochimica, cu fascicule de electroni si fascicule laser, cu ultrasunete etc. Notiunea *tehnologii neconventionale*, care intr-un sens mai restrans se refera la procedeele de prelucrare prin eroziune, prezinta un dinamism propriu, atat in sensul includerii, pe masura aparitiei, a unor procedee noi de prelucrare cat si in sens invers, al excluderii unor procedee care dupa un anumit nivel de dezvoltare si implementare industriala devin comune, conventionale.

Sub acest aspect, eroziunea electrica si-a pierdut intr-o mare masura atributul de *neconventional* fiind la ora actuala larg utilizata in industrie, datorita unor caracteristici tehnice si economice favorabile ale prelucrarilor. Cu toate acestea, eroziunea electrica este departe de a fi un procedeu de prelucrare ideal, ea fiind afectata de neajunsurile unei productivitati (relativ) scazute si unei uzuri insemnate a electrodului scula.

Perfectionarile aduse procedeeului de-a lungul intregii sale istorii au vizat, in cea mai mare masura tocmai aceste neajunsuri, caile de abordare fiind orientate atat spre perfectionarea constructiva si functionala a utilajului cat si spre optimizarea tehnologiilor de prelucrare.

Prezenta lucrare se inscrie in contextul acestor preocupari devenite tot mai actuale, directia abordata fiind aceea a perfectionarii functionale a sistemului de reglare a avansului, subansamblu important al utilajului de prelucrare. In acest sens, s-au urmarit mai multe obiective:

- identificare, prin cercetare bibliografica si experimentală a unor parametri de proces susceptibili a fi utilizati pentru un reglaj extremal al avansului;
- proiectarea si realizarea unor echipamente si standuri pentru cercetare si apoi implementarea, in structura unui sistem de avans a strategiilor de comanda extremala;
- utilizarea comenzii numerice cu calculator pentru perfectionarea avansului de conturare pe doua axe, utilizand un semnal complex de comanda obtinut prin

insumarea informatiei tehnologice din proces cu informatia geometrica continuta in programul de conturare.

Lucrarea este organizata pe 7 (sapte) capitole si anexe, extinse pe parcursul a 191 pagini si contine 100 figuri, 47 tabele, 140 relatii matematice si 173 titluri bibliografice intre care 39 lucrari ale autorului (9 singur autor si 30 in colaborare), 4 brevete de inventie si 3 certificate de inovator, in domeniul studiat.

Rezultatele prezentate in lucrare sunt rodul unei indelungate activitati a autorului intr-un mediu stiintific extrem de stimulator, Catedra de Tehnologie mecanica de la Facultatea de mecanica din cadrul Universitatii POLITEHNICA din Timisoara, leaganul tehnologiilor neconventionale din Romania, ale caror parinte spiritual este distinsul **Prof. dr. doc. st. dhc AUREL NANU**. Apartenenta la un asemenea colectiv, pe langa un sentiment de nemarginita mandrie incumba si o mare responsabilitate, autorul avand de depasit, prin rezultatele muncii sale o stacheta plasata extrem de sus.

O lucrare de amploarea unei teze de doctorat nu poate fi realizata de un singur om, indiferent de resursele sale, fara sprijin stiintific, material si moral. Pe parcursul cercetarilor autorul a beneficiat permanent de ajutorul prietenesc si extrem de competent al specialistilor din domeniu cu care a colaborat in diferite momente, drept pentru care adreseaza multumiri si isi exprima cele mai profunde sentimente de consideratie:

- Domnului **Prof. dr. doc. st. dhc AUREL NANU**, conducatorul stiintific a carui competenta stiintifica nu este egalata decat de bunatatea si intelegerea de care a dat dovada pe intreaga durata de elaborare a tezei;
- Domnului Conf. dr. ing. Titus Slavici, pentru colaborarea deosebit de fructuoasa si sprijinul insemnat pe care l-a acordat in special in etapa de finalizare a lucrarilor;
- Domnului Prof. dr. ing. Aurel Brestin pentru nenumaratele incurajari si nepretuitele sfaturi acordate in cele mai diverse ocazii;
- Conducerii Catedrei Tehnologie mecanica – Prof. dr.ing. Richard Herman pentru sprijinul si intelegerea acordate in perioada de finalizare a lucrarii;
- numerosilor colegi, colaboratori in diferite momente –dr. ing. Mihai Ghita , dr. ing. Mircea Olariu, dr. ing. Eugen Cicala si multor altora nenominalizati aici.

De asemenea, exprima multumiri Domnului Rossa Torido – managerul SC "ELECTROSTAR JOB" SRL pentru sprijinul tehnic si material acordat pentru efectuarea cercetarilor si implementarea industriala a rezultatelor.

Nu in ultimul rand autorul isi indreapta cu respect si dragoste toate sentimentele de multumire familiei pentru rabdarea, intelegerea si sprijinul pe care i le-au acordat in toate momentele elaborarii prezentei lucrari.

AUTORUL

Dipl. ing. Reviczky-Levay Antoniu Stefan

Lista simbolurilor si abrevierilor.

A - arie [m ²]	n_{sc} - numarul impulsurilor in scurtcircuit [-]
E - camp electric, electrod [V/m]	n_{an} - numarul impulsurilor anormale [-]
EF – electrod filiform	OP - obiect de prelucrat (piesa)
EE, EDM - eroziune electrica	OT - obiect de transfer (electrod scula)
E_s - rigiditate dielectrica [V/m]	Q_p - productivitatea prelucrarii [mm ³ /min]
f - frecventa (în general) [Hz]	Ra - rugozitatea medie [μm]
f_i - frecventa impulsurilor [Hz]	s - viteza de avans [m/s]
f₀ - frecventa impulsurilor in gol [Hz]	SRA - sistem de reglare a avansului
f_n - frecventa impulsurilor normale [Hz]	t - timp (in general) [s]
f_r - frecventa impulsurilor fictive [Hz]	T - perioada impulsurilor [s]
f_{sc} - frecventa impulsurilor in scurtcircuit [Hz]	t_a - intarzierea la amorsare a descarcarii[s]
f_{an} - frecventa impulsurilor anormale [Hz]	t_{am} - intarzierea medie la amorsare [s]
f_M - frecventa impulsurilor de maruntire [Hz]	t_i - durata impulsului de curent [s]
f_p - frecventa impulsurilor de prelevare [Hz]	t_p - durata pauzei dintre impulsuri [s]
g - marimea interstitiului (în general) [m]	t_s - durata de strapungere [s]
g_i - interstitiul initial [m]	t_u - durata impulsului de tensiune [s]
g_f - interstitiul final [m]	U - tensiune electrica (in general) [V]
g_{fr} - interstitiul frontal [m]	U_s - tensiune de strapungere [V]
g_l - interstitiul lateral [m]	U₀ - tensiune de mers in gol [V]
g_{max} - interstitiul maxim [m]	u - tensiune momentana (in general) [V]
g_{min} - interstitiul minim [m]	u_d - tensiune medie pe descarcare [V]
g_{op} - interstitiul optim [m]	U_i - tensiune medie pe impuls [V]
GI - generator de impulsuri	U_m - tensiune medie pe interstitiu [V]
i - valoarea momentana a curentului [A]	u_r - tensiune de referinta [V]
I - intensitatea curentului (in general) [A]	u_v - uzura volumica relativa [V]
i_d - curentul mediu în impuls [A]	V - volum (in general) [mm ³]
I_m - valoarea medie a curentului [A]	V_{i p} - volum prelevat pe impuls [mm ³]
IE - interstitiu eroziv	v - viteza (in general) [m/s]
K, k – constanta, coeficient de amplificare [-]	w_i - energia impulsului (descarcarii) [J]
n - numar (in general)	τ₀ (t₀) – durata relativa de mers in gol [%]
n_i - numar total de impulsuri [-]	τ_a (t_a) – durata relativa a descarcarii efective [%]
n₀ - numarul impulsurilor in gol [-]	τ_r (t_r) – durata relativa a descarcarii fictive [%]
n_n - numarul impulsurilor efective (normale) [-]	τ_{sc} (t_{sc}) – durata relativa de scurtcircuit [%]
n_r - numarul impulsurilor fictive [-]	

CUPRINS.

	pag.
INTRODUCERE	
LISTA SIMBOLURILOR SI ABREVIERILOR	
CUPRINS	1
1. PRELUCRAREA DIMENSIONALA PRIN EROZIUNE ELECTRICA	3
1.1 Principiul prelucrării	3
1.2. Utilaje de prelucrare	4
1.3. Generatoare de impulsuri	5
1.4. Sistemul de reglare a avansului	8
1.5. Sistemul de lichid dielectric	11
1.6. Obiectivul cercetărilor	11
2. CERCETARI PRIVIND CARACTERIZAREA PROCESULUI DE PRELUCRARE PRIN EROZIUNE ELECTRICA	13
2.1 Parametrii procesului de prelucrare	13
2.1.1. Parametrii de intrare	13
2.1.2. Parametrii de iesire	15
2.1.2.1. Caracteristicile tehnologice ale prelucrării	15
2.1.2.2. Parametrii de stare	16
2.2. Cercetari pentru caracterizarea OFF-LINE a procesului de prelucrare	18
2.2.1. Stabilirea parametrilor de intrare si iesire	18
2.2.2. Rezultate experimentale	19
2.2.2.1. Cercetarea procesului de eroziune prin experiment clasic	19
2.2.2.2. Premodelarea procesului de eroziune electrica	26
2.2.2.3. Modelarea matematica a procesului de prelucrare	29
2.3. Caracterizarea procesului de prelucrare in timp real	33
2.3.1. Fluxul informational la EDM	33
2.3.2. Tipuri de impulsuri la EDM	34
2.3.3. Cercetari privind discriminarea impulsurilor	36
2.3.3.1. Analizorul de impulsuri	38
2.3.3.2. Simularea procesului de prelucrare	41
2.3.3.3. Prelucrare informatiei la nivelul trenului de impulsuri	44
2.4. Analiza ON-LINE a procesului de prelucrare	46
2.4.1. Implementarea analogica	46
2.4.2. Implementarea digitala	48
2.4.3. Cercetari experimentale	51
2.4.3.1. Stabilirea parametrilor	51
2.4.3.2. Reglarea discriminatorului de impulsuri	53
2.4.3.3. Influenta parametrilor OFF-LINE	53
2.4.3.4. Influenta parametrilor ON-LINE	58
3. CERCETARI ASUPRA CONDUCERII AVANSULUI LA MASINILE DE PRELUCRARE PRIN EROZIUNE ELECTRICA	62
3.1. Introducere	62
3.2 Structura SRA	63
3.3. Interstitiul ca obiect al reglării automate	68
3.3.1. Caracterizarea geometrica a interstitiului	68
3.3.2. Caracterizarea interstitiului prin marimi direct masurabile	71
3.3.2.1. Valori medii ale tensiunii	71
3.3.2.2. Parametrii temporali ai impulsurilor de tensiune	74

3.3.2.3. Concluzii	76
3.3.3. Caracterizarea interstitiului prin parametri de grup ai impulsurilor electrice	78
3.3.3.1. Evolutia grosimii interstitiului	78
3.3.3.2. Identificarea parametrilor de comanda extremala	81
3.4. Echipamentul de comanda extremala a avansului	86
3.4.1. Implementarea analogica	86
3.4.2. Implementarea numerica	90
3.5. Cercetari tehnologice	94
3.5.1. Stabilirea valorilor parametrilor prescrisi	94
3.5.2. Rezultate experimentale	98
3.6. SRA pentru masina de prelucrat microalezaje	106
3.7. Dispozitiv pentru prelucrarea implantelor stomatologice tip surub	113
4. CERCETARI PENTRU ELABORAREA UNOR STRUCTURI HARD SI SOFT DE CONDUCERE A AVANSULUI LA MASINILE DE PRELUCRARE PRIN EROZIUNE ELECTRICA CU ELECTROD FILIFORM	118
4.1. Consideratii preliminare	118
4.1.1. Oportunitatea cercetarilor	118
4.1.3. Orientarea cercetarilor	119
4.2. Structura hard a sistemului de comanda	122
4.2.1. Placa de dezvoltare	123
4.2.2. Interfata masina	125
4.2.2.1. Semnale si functii logice	125
4.2.2.2. Implementare hard	127
4.3. Structura programelor de conducere numerica	127
4.3.1. Structura soft a sistemului de comanda	127
4.3.2. Structura programului executor	129
4.3.3. Algoritmii utilizati pentru realizarea interpolatoarelor	129
4.3.3.1. Conditii impuse de programul piesa	129
4.3.3.2. Selectia algoritmilor	132
4.3.3.3. Interpolarea liniara	132
4.3.3.4. Interpolarea circulara	134
4.4. Arhitectura programelor de comanda	135
4.4.1. Algoritmii de conducere a avansului	135
4.4.1.1. Comanda miscarii de avans	135
4.4.1.2. Retragerea din scurtcircuit	137
4.4.1.3. Revenirea in situatii speciale	138
4.4.2. Variante de utilizare	139
4.4.3. Corectia de traectorie	139
4.4.4. Stivele de pozitie	142
4.5. Algoritmi de comanda manuala a utilajului	145
4.6. Utilizarea sistemului de intreruperi	147
5. CERCETARI EXPERIMENTALE ASUPRA ECHIPAMENTULUI DE COMANDA NUMERICA A AVANSULUI.	150
5.1. Consideratii preliminare	150
5.2. Cercetari experimentale calitative	151
5.3. Cercetari tehnologice	155
5.3.1. Stabilirea ordinii de influenta a parametrilor	155
5.3.2. Stabilirea valorilor parametrilor de comanda	158
6. CONCLUZII	164
7. BIBLIOGRAFIE	169
8. ANEXE	177
A. Programul de citire a traductorilor de pozitie	177
B. Programul de interpolare liniara si circulara	178
C. Subrutina de tratare a intreruperii	182
D. Secventa de fisier FPO.txt cu evolutia procesului de prelucrare	190

CAP.1. PRELUCRAREA DIMENSIONALĂ PRIN EROZIUNE ELECTRICĂ.

1.1. Principiul prelucrării.

La prelucrarea dimensională prin eroziune electrică (EDM – Electro-Discharge Machining), prelevarea de material se realizează prin efectul preponderent termic al descărcării electrice [1, 2, 50, 73, 98, 103] amorsate succesiv între obiectul de transfer (OT) numit uzual electrod-sculă și obiectul de prelucrat (OP). Între suprafețele celor două obiecte se află un spațiu – interstițiul eroziv – în care se găsește un mediu lichid dielectric. Îndepărtarea adaosului de prelucrare de pe OP este rezultatul acțiunilor cumulate ale descărcărilor electrice, ale mișcărilor relative ale electrozilor și ale proceselor de evacuare a deșeurilor. În timpul procesului de prelucrare apare și o uzură a electrodului-sculă, rezultat al prelevării de material și din OT (fig.1.1.1).

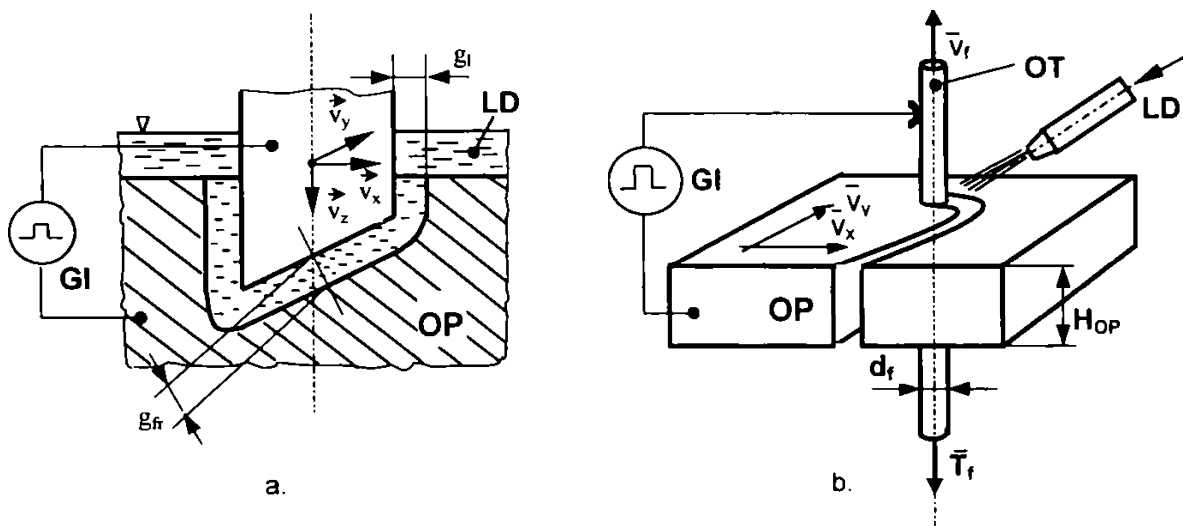


Fig.1.1.1. Principiul prelucrării prin eroziune electrică ;
a. – cu electrod masiv ; b. – cu electrod filiform.

1.2. Utilaje de prelucrare.

Pentru realizarea unei prelucrări dimensionale prin eroziune electrică se impune asigurarea unor condiții fizice și tehnologice, prezentate în figura 1.2.1 și care sunt îndeplinite în cadrul sistemului tehnologic de prelucrare [42, 120 128].

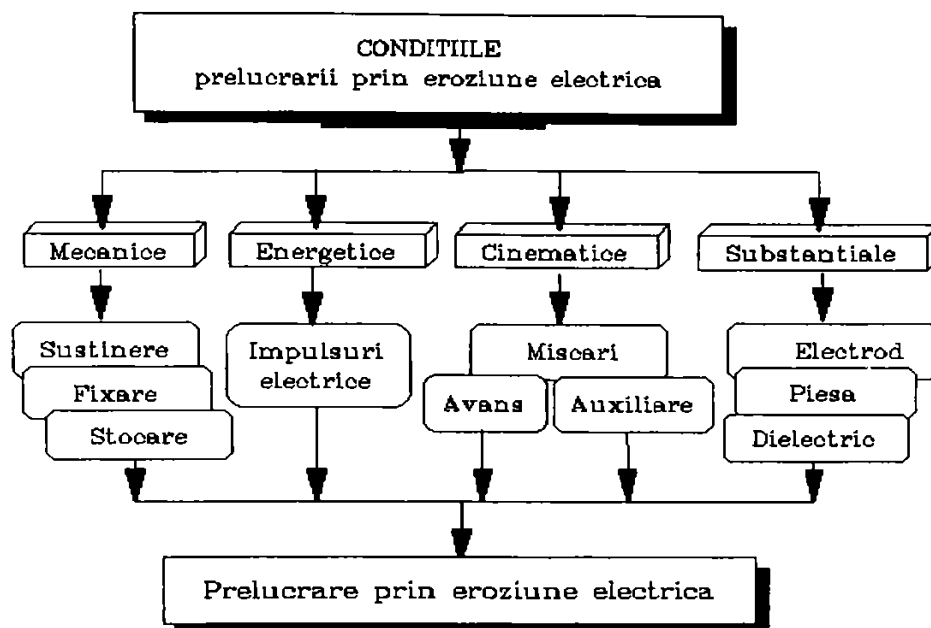


Fig.1.2.1. Condițiile prelucrării prin eroziune electrică.

Nivelul actual de implementare industrială a prelucrării prin eroziune electrică evidențiază existența a două categorii de utilaje :

- mașini de prelucrare prin eroziune electrică cu electrod masiv;
- mașini de prelucrare prin eroziune electrică cu electrod filiform.

Generarea suprafețelor prin eroziune electrică se realizează de asemenea în două moduri:

- prin copierea directă a formei sau profilului OT - caracteristic mașinilor cu electrod masiv;
 - pe cale cinematică, prin realizarea unor mișcări complexe între OT și OP
- pentru ambele categorii de mașini.

Schema generală a unei mașini cu electrod masiv este prezentată în fig.1.2.2.

Mașinile cu electrod filiform, datorită formei și dimensiunilor OT prezintă particularități constructive notabile la toate subsambele: bloc mecanic (mașina propriu

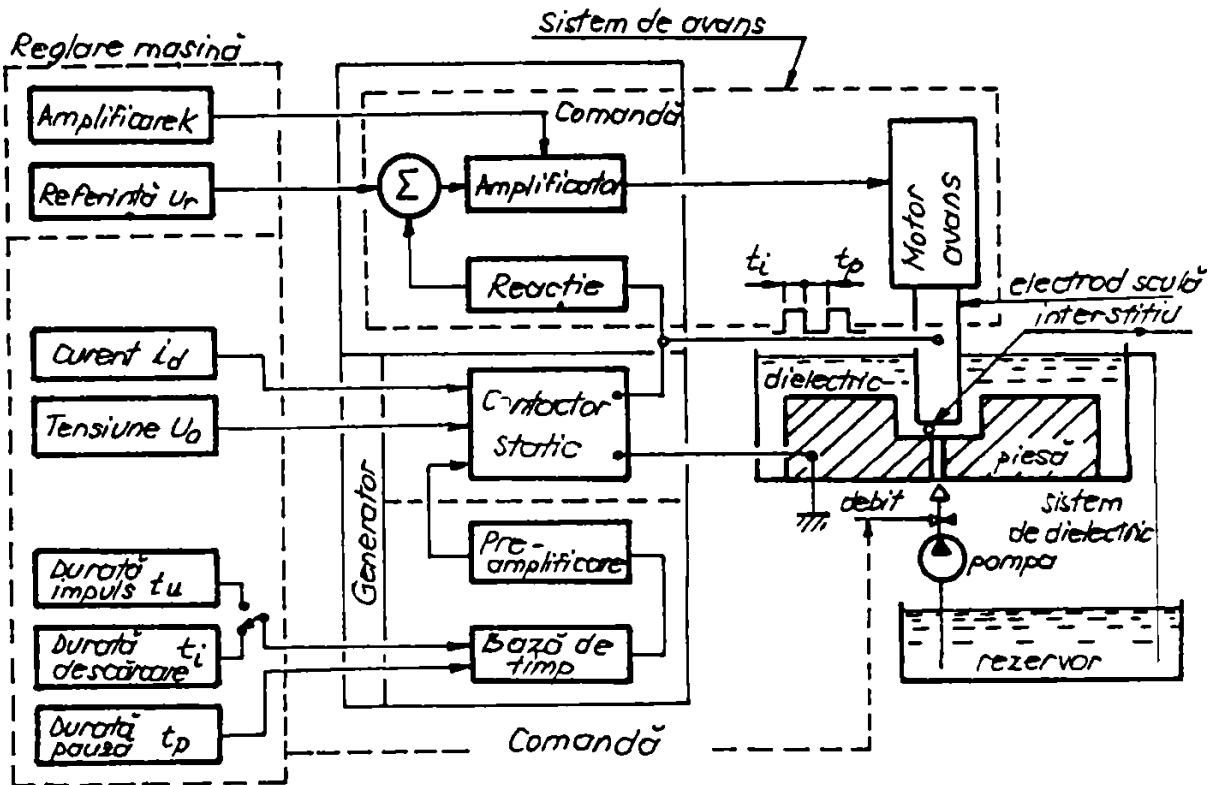


Fig.1.2.2 Schema generală a unei mașini de prelucrare prin eroziune electrică.

zisa), generatorul de impulsuri - adaptat unor descărcări de energii mici, sistemul de reglare a avansului - cu acțiune pe cel puțin două direcții, sistemul de lichid dielectric și sistemul de comandă.

În prezent sunt în curs de generalizare mașinile cu electrod masiv și filiform cu comandă numerică, care includ și diferite variante de comenzi adaptive [10, 43, 88, 145, 164, 169, 171, 173]. Acestea oferă posibilitatea de generare cinematică a suprafețelor complexe utilizând electrozi cu configurație geometrică simplă care execută mișcări de avans comandate pe mai multe axe în regimuri de prelucrare optime.

1.3. Generatoare de impulsuri.

Calitatea procesului electroeroziv este determinată în principal de caracteristicile impulsurilor, definite prin evoluția în timp a tensiunii pe intersticiu și a curentului asociat descărcării electrice [7, 15, 63, 154, 165, 172]. Aceste caracteristici depind esențial de doi factori:

- generatorul de impulsuri (GI);

- proprietățile fizico-geometrice momentane ale interstitiului .

GI reprezintă sursa de energie pentru descărcările electrice. Rolul său este, pe lângă adaptarea parametrilor electrici ai sursei primare și acela de a controla parametrii electrici și temporali ai descărcărilor electrice, și anume :

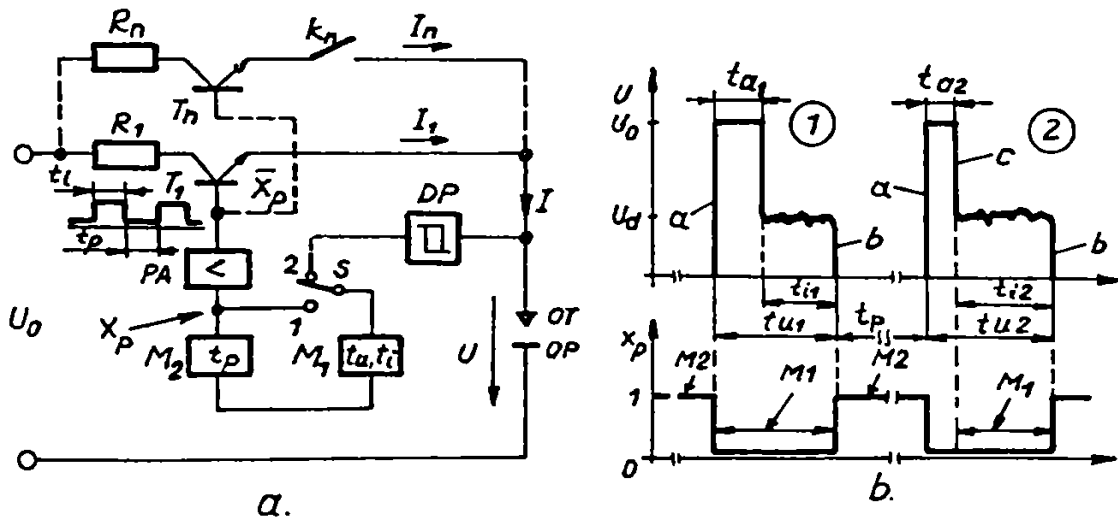
- tensiunea de mers în gol, durata și frecvența de repetiție a impulsurilor de tensiune ;
- forma, durata și amplitudinea impulsurilor de curent ;
- energia descărcării.

Totodată, GI asigură întreruperea descărcărilor anormale – în arc și scurtcircuit.

În prezent se folosesc două variante de GI :

- GI comandate (independente) ;
- GI cu acumulare-relaxare a energiei.

Schema unui generator de impulsuri comandate este prezentată în fig. 1.3.1. La aceste tipuri de generatoare impulsurile de tensiune se obțin prin comutarea tensiunii unei surse de curent continuu pe interstitiu, prin intermediul unor contactoare statice cu semiconductoare - în prezent tranzistoare de putere în comutație.



Descărcările electrice amorțite în interstitiu în condiții normale, au caracteristicile prezentate în fig. 1.3.1 b. Fiecare descărcare este precedată de un timp de amorțire t_a , variabil în mod aleator de la un impuls la altul, în care se inițiază strângeră rigidității dielectrice a interstitiului. Evoluția canalului descărcării se

face într-un timp finit în care tensiunea scade și apare curentul prin interstitiu. Starea (cvasi)stationară este caracterizată printr-o valoare a tensiunii - u_d și a curentului - i_d . GI comandate permit prescrierea independenței într-un domeniu larg a duratelor impulsurilor de tensiune sau curent - t_u sau t_i , a pauzei dintre impulsuri - t_p și a amplitudinii curentului în descarcare. De asemenea, impulsul de curent poate fi modulată în amplitudine pe durata t_i , iar tensiunea de mers în gol U_0 poate fi selectată între mai multe valori.

Energia descărcării este dată de:

$$w_i = \int_0^{t_i} u \cdot i \cdot dt \quad (\text{J}) \quad (1.3.1)$$

Cu valorile medii ale parametrilor electrici, energia descărcării devine:

$$w_i = u_d \cdot i_d \cdot t_i \quad (\text{J}) \quad (1.3.2)$$

Abaterile caracteristicilor descărcărilor electrice față de cele normale evidențiază desfășurarea anormală a proceselor elementare de eroziune și au consecințe negative asupra prelucrării [62].

După regimul de funcționare, se disting două tipuri de GI comandate:

- generatoare izofrecvență, caracterizate prin duratele prescrise ale impulsului de tensiune t_u și a pauzei t_p constante. În consecință, durata de descărcare t_i și energia descărcării w_i sunt variabile;

- generatoare izopuls (izoenergetice), la care sunt prescrise duratele descărcării t_i , și pauzei t_p . În acest caz, pentru valori constante ale căderii de tensiune pe descărcare, caracteristic regimurilor stabile, energiile w_i ale impulsurilor repetitive sunt egale între ele.

Funcționarea generatorului în unul din cele două regimuri este evidențiată în fig.1.3.1 b.

În prezent, utilizarea GI comandate este practic generalizată pentru toate tipurile de mașini moderne de prelucrare prin eroziune electrică.

Generatoarele de relaxare funcționează pe principiul acumulării energiei electrice într-un element de circuit reactiv – practic un condensator și eliberarea (relaxarea) acesteia în interstitiu, pe seama caracteristicii electrice neliniare a acestuia. Deși performanțele tehnologice obținute cu aceste tipuri de generatoare se situează sub nivelul celor caracteristice generatoarelor comandate, în prezent sunt încă în exploatare un număr de mașini de prelucrare prin eroziune electrică, în special cu electrod filiform care utilizează variante evoluat de generatoare de

relaxare (fig.1.3.2), prevazute cu elemente de comanda activa a acumulării energiei și relaxării acesteia în interstitiu. În acest caz, energia descărcărilor este:

$$w_i = \frac{1}{2} C U_C^2 \quad (J) \quad (1.3.3)$$

unde : C – capacitatea condensatorului (F) ; U_C – tensiunea pe condensator (V).

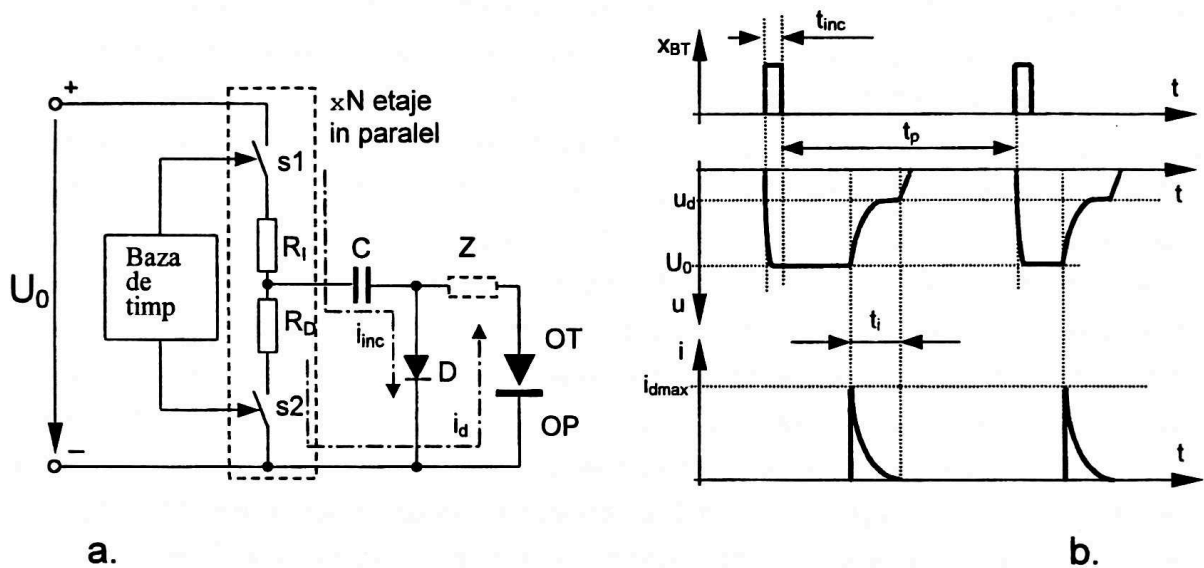


Fig 1.3.2. Generatorul de relaxare comandat.
a - Schema de principiu; b - diagrama impulsurilor

1.4. Sistemul de reglare a avansului.

În cadrul utilajului de prelucrare, sistemului de reglare a avansului (SRA) îi revine rolul de a realiza, pe de o parte, condițiile geometrice necesare amorsării descărcărilor electrice, iar pe de altă parte, continuitatea desfășurării proceselor elementare de eroziune, prin stabilirea și menținerea grosimii interstitiului într-un domeniu relativ restrâns de valori. În esență, SRA trebuie să realizeze mișcare relativă OT-OP pe traiectorii impuse cu anumite viteze, accelerații și precizii de deplasare.

Structural, SRA se prezintă ca un sistem automat stabilizator al mării interstitiului, realizat după schema bloc vizibilă în fig.1.2.2. Tensiunea de referință u_r , corespunde mării dorite a interstitiului, și prescrierea corectă a acestuia are o influență covârșitoare asupra procesului de prelucrare. Ea este comparată cu mărimea de reacție din proces, care, prelucrată prin traductorul de reacție este

o măsură a mărimii reale a interstițiului. Semnalul de eroare este prelucrat printr-un regulator și este aplicat, printr-un amplificator de putere, elementului de execuție (motorului de acționare) care, direct sau prin intermediul unui lanț cinematic realizează deplasarea relativă OT-OP, stabilind mărimea interstițiului la valoarea prescrisă.

Un criteriu uzual de caracterizare a unui SRA este cel corespunzător motorului de acționare și implicit al caracterului mișcării.

În perspectiva istorică, primele mașini au fost echipate cu acționări electrice cu servomotoare de curent continuu, curent alternativ și pas cu pas cu performanțe dinamice relativ modeste, precum și cu acționări speciale. În deceniile 6-7 s-au impus acționările electrohidraulice, mai rapide și mai puternice. Acestea, la rândul lor au fost înlocuite cu acționări electrice moderne, comandate digital, bazate pe servomotoarele de curent continuu cu inerție redusă și cuplu mare (utilizate în echiparea mașinilor de gabarite mari), precum și pe motoarele pas cu pas (pentru mașini de gabarite medii și mici). Schema unei acționări moderne a avansului pentru mașini de gabarit mare este prezentată în fig.1.4.1 [86]. Aceasta exemplifică aplicarea conceptului "reglare a poziției" în locul celui de "reglare a vitezei", justificată prin caracterul discontinuu al prelevării, respectiv al modificării mărimii interstițiului. Pentru aceasta, bucla majoră - de reglare a mărimii interstițiului - este completată de bucle minore de reglare a poziției - închise prin traductorul de poziție TIRO, respectiv a vitezei - închise prin traductorul de viteză T_g . În acest mod se realizează practic un avans pas cu pas, utilizând un motor de curent continuu de putere mare, cu caracteristici dinamice superioare motoarelor pas cu pas de aceeași putere.

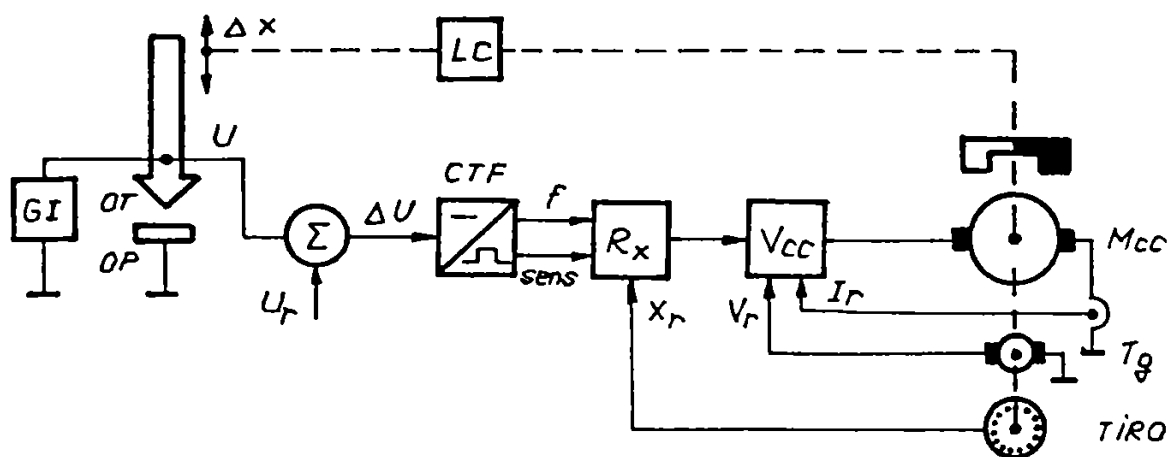


Fig. 1.4.1. Schema sistemului de avans al mașinii EDM de gabarit mare.

Descargarile electrice produse în timpul procesului de prelucrare furnizează semnale electrice care pot caracteriza starea (dimensiuni geometrice și caracteristici electrice) interstiului în regim ON-LINE. Blocul traductor a stării interstiului furnizează la ieșire un semnal de reacție rezultat prin prelucrarea semnalelor de pe interstiu, pe baza unor algoritmi diversi, rezultați în urma unor cercetări în domeniu [13, 15, 40, 49]. Obținerea unor semnale de reacție prin prelucrarea impulsurilor de tensiune de pe interstiu este prezentată în fig.1.4.2. Evoluția descărcărilor electrice și corespunzător caracteristicile electrice ale acestora sunt influențate, pe lângă mărimea interstiului frontal g_{fr} și de alți parametri ai regimului de prelucrare - tensiunea de mers în gol U_0 , durata pauzei între impulsuri t_p , de lichidul dielectric (material și circulație în interstiu), etc. [11]. Existența interacțiunilor dintre un număr mare de parametri de regim - prezentați în tab.1.4.1. - și mărimea interstiului conduce la imposibilitatea stabilirii unor relații biunivoce între tensiunea de referință servo u_r și mărimea interstiului frontal g_{fr} . Există un număr mare de brevete [51, 52, 60, 72, 75, 123] privind realizarea unor structuri particulare de SRA, dar tocmai diversitate mare a soluțiilor adoptate conduce la concluzia că în prezent nu există un senzor ideal al stării interstiului, care să permită controlul optimal al acestuia.

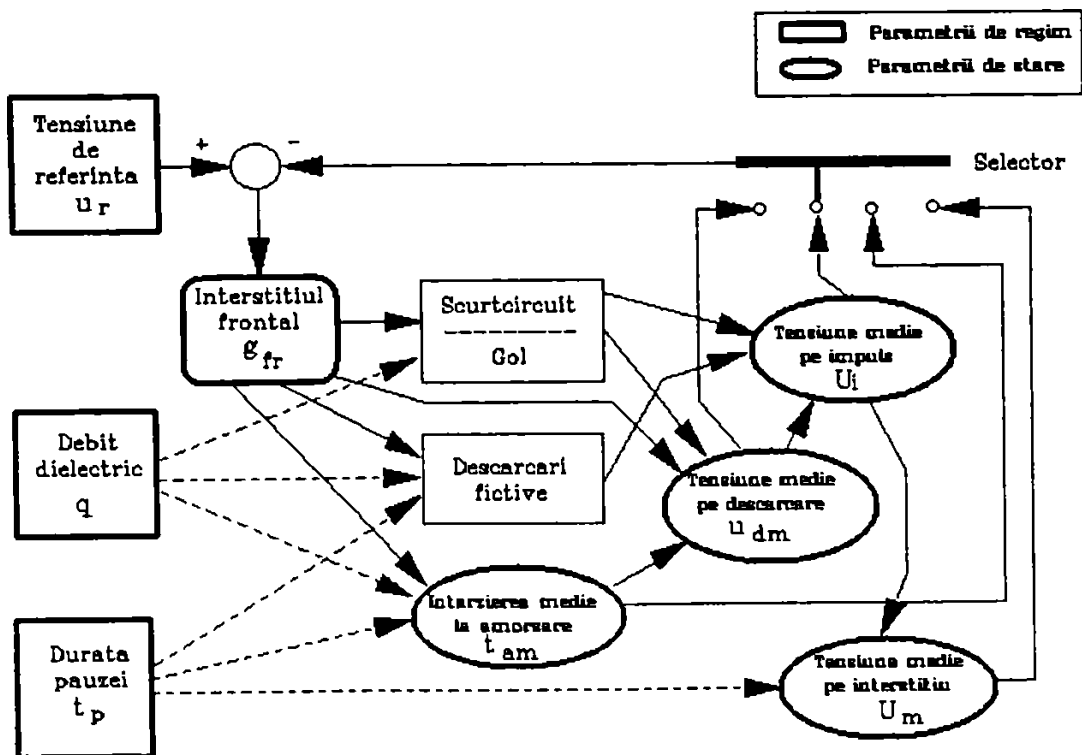


Fig.1.4.2. Interacțiunea parametrilor impulsurilor la reglarea interstiului.

Tabelul 1.4.1. Influența parametrilor OFF-LINE asupra grosimii interstițiului.

Nivel de influență		Factori de influență											
directă	inversă	U_0	w_t		Q_p	q/p	z	R_a					
		Tensiunea de amorsare	Energia descărcării	Polaritatea OT	Debitul prelevării	Circulația dielectricului	Adâncimea de prelucrare	Rugozitatea piesei	Rigiditatea mașinii	si/sau electrodului	Cuplul de materiale OT-OP :	Miscări compuse ale OT	Stabilitatea prelucrării
Grosimea interstițiului								axială	radială				
frontal g_f		▲	▲	▲	▲	▼	▲	▼	▲	▲	▼	▼	
lateral g_l		▲	▲	▲	▲	▼	▲	▼	▼	▲	▲	▼	

1.5. Sistemul de lichid dielectric.

Deoarece procesele elementare de eroziune se desfășoară în interstițiu în prezența unui lichid dielectric, fiecare utilaj are în componența sa un subsamblu specific - sistemul de lichid dielectric. Lichidele dielectrice cele mai utilizate sunt :

- motorina, petrol, uleiuri minerale speciale (amestecuri de hidrocarburi lichide) – la mașinile de eroziune electrică cu electrod masiv ;
- apa deionizată, emulsii de ulei în apă - pentru mașinile de eroziune electrică cu electrod filiform și pentru micromășini.

Atât natura dielectricului cât și modul de circulație a acestuia în interstițiu au o importanță covârșitoare asupra proceselor de prelucrare [13, 50, 169], aspect care va fi investigat în capitolele 2 și 3 ale prezentei lucrări.

1.6. Obiectivul cercetărilor.

Cresterea continuă a ponderii prelucrării prin eroziune electrică în industrie [78, 102, 120, 145] este rezultatul unor intense activități de cercetare, orientate spre îmbunătățirea performanțelor tehnice și economice ale procedurii EDM, deziderat care a fost urmărit pe două cai :

- 1.- perfecționarea constructivă și funcțională a sistemelor de acțiune tehnologică ;

2. - perfecționarea (optimizarea) tehnologiilor de prelucrare electroerozive.

În domeniul constructiv-funcțional au fost studiate elementele specifice ale sistemelor de acțiune tehnologică și pentru utilajele de prelucrare s-au identificat următoarele subansamble [98, 151] susceptibile perfecționării:

- generatorul de impulsuri [7, 15, 90, 91, 124, 149];
- sistemul de avans [11, 29, 30, 33, 37, 44, 46, 47, 49, 52, 60, 66, 71, 72, 75, 79, 80, 81, 85, 92, 105, 106, 108, 121, 122, 135, 136, 140, 141, 142, 156, 157, 159, 162, 166, 167, 168];
- sistemul de dielectric [98, 169, 170, 171];
- sistemul de comandă și optimizare [10, 11, 25, 35, 51, 58, 61, 62, 63, 65, 67, 88, 109, 133].

În cadrul lucrării de față, autorul și-a propus perfecționarea sistemului de avans; aceasta se poate realiza în principal pe două căi:

- Constructiv – prin realizarea integrală a unui sistem de avans original;
- Funcțional, prin îmbunătățirea caracteristicilor funcționale ale unui sistem existent.

Dintre cele două direcții, în urma unei analize amănunțite a fost abordată perfecționarea funcțională, opțiune motivată prin următoarele considerente:

1. Sistemele moderne de acționare utilizate pentru reglarea avansului sunt extrem de performante, ele fiind beneficiarele ultimelor realizări în domeniul tehnici de reglare a poziției/vitezei, atât sub aspect hard (servomotoare, lanțuri cinematice, traductoare, echipamente de comandă) cât și soft (algoritmi de reglare). Sub acest aspect, aceste sisteme nu sunt specifice mașinilor de prelucrare prin eroziune electrică ci au un caracter de universalitate, fiind aplicate în diferite domenii, inclusiv pe mașinile unelte;

2. Specific electroeroziunii este conducerea avansului tehnologic funcție de starea momentană și evoluția procesului de prelucrare. Mărimea avansului este determinată de viteza de prelucrare, spre deosebire de prelucrarea prin așchiere (ca exemplu) unde viteza de prelucrare este determinată (și) de avans. În cadrul buclei de reglare a avansului se folosește un parametru de reacție rezultat în urma prelucrării semnalelor electrice de pe interstitiu. Stabilirea acestui parametru a fost și este în atenția unui număr mare de cercetători, fiecare abordând problema sub diferite aspecte.

În acest context, autorul a urmărit o cale personală spre identificarea, obținerea și implementarea, pe o mașină existentă a unui parametru de comandă extremă la avansului. De asemenea a fost abordată și perfecționarea unui sistem de avans de conturare (pe două direcții x și y) prin realizarea unui sistem CNC – urmărind ca finalitate aplicarea industrială a rezultatelor cercetărilor.

CAP.2. CERCETARI PRIVIND CARACTERIZAREA PROCESULUI DE PRELUCRARE PRIN EROZIUNE ELECTRICA.

2.1. Parametrii procesului de prelucrare.

La nivel de sistem (fig.2.1.1), procesul de prelucrare este caracterizat de multimea parametrilor de intrare si a perturbatiilor cu caracter stohastic [1,2,18,40,62,146], inerente in procesele electroerozive. Parametri de iesire caracterizeaza rezultatele finale, respectiv pe cele intermediare ale operatiei de prelucrare.

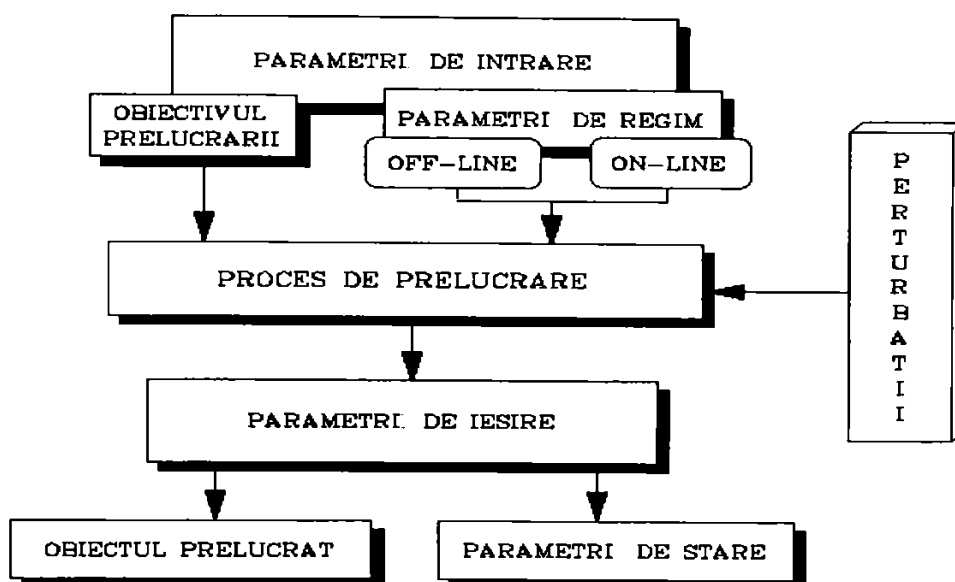


Fig.2.1.1. Parametrii procesului de prelucrare .

2.1.1. Parametrii de intrare.

Aceasta grupa cuprinde parametri care sunt selectati independent, inainte de demararea procesului de prelucrare. Se disting doua categorii de parametri independenti:

A1.- parametrii aferenti obiectivului prelucrării; acestia sunt specificati in documentatia de executie a piesei;

A2.- parametrii aferenti regimului de prelucrare care se prescriu in acord cu caracteristicile constructiv-functionale ale utilajului, in scopul realizarii obiectivului prelucrării in conditii tehnico-economice cat mai convenabile. Aceasta grupa de parametri cuprinde doua subgrupe, distincte prin efectele pe care le produc in timpul desfasurării procesului de prelucrare:

A2.1- parametrii inalterabili pe durata desfasurarii prelucrarii (parametri OFF-LINE); o eventuala variatie a acestor parametri in timpul procesului conduce de regula la variatii importante ale rezultatelor prelucrarii (ex. dimensiunile suprafetei prelucrate, rugozitate etc.);

A2.2-parametrii susceptibili a fi modificati in timpul prelucrarii (parametri ON-LINE); variatia acestor parametri nu modifica esential rezultatul operatiei de prelucrare sub aspect calitativ ci in general modificarile sunt cantitative (ex. timpul de prelucrare, uzura sculei etc.).

In tabelul 2.1.1 sunt prezentati parametrii de intrare, cu specificarea subansamblului utilajului prin care actioneaza asupra procesului.

Tabelul 2.1.1

A. PARAMETRII DE INTRARE				
A1.	OBIECTIVUL PRELUCRARIII			
PIESA	<ul style="list-style-type: none"> - material - dimensiuni - forma - calitatea suprafetei 			
ELECTROD	<ul style="list-style-type: none"> - material - forma - dimensiuni 			
A2.	PARAMETRII REGIMULUI DE PRELUCRARE			
	A2.1. (OFF-LINE)		A2.2. (ON-LINE)	
1. Generator de impulsuri	<ul style="list-style-type: none"> -Polaritatea OT-OP -Tensiunea de mers in gol -Durata impulsului de tensiune sau de curent - Aplitudinea impulsului de curent - Forma impulsului de curent 	U_0 t_w, t_i i_d	<ul style="list-style-type: none"> - Durata pauzei intre impulsuri 	t_p
2. Sistemul de avans	<ul style="list-style-type: none"> - Traectoria avansului 		<ul style="list-style-type: none"> -Tensiunea de referinta servo - Coeficient de amplificare - Parametrii relaxarii OT: <ul style="list-style-type: none"> -timp de prelucrare -timp de retragere - Parametrii oscilatiei OT: <ul style="list-style-type: none"> - amplitudine - frecventa 	u_r K T_s T_j a f
3. Sistemul de dielectric	<ul style="list-style-type: none"> - Tipul de dielectric - Modul de circulatie in interstitiu 		<ul style="list-style-type: none"> - Debit / presiune - Grad de impurificare / conductivitate 	q / p
4. Sistemul de comanda	<ul style="list-style-type: none"> - Miscari auxiliare ale OT 		<ul style="list-style-type: none"> - Sensibilitatea protectiei la regimuri anormale 	

2.1.2. Parametrii de iesire.

2.1.2.1. Caracteristicile tehnologice ale prelucrării [1,120].

Acest grup de parametri de iesire caracterizeaza din punct de vedere cantitativ rezultatele finale ale prelucrării și se determina prin masuratori efectuate asupra piesei, a electrodului, a timpului de prelucrare. Intrucat aceste masuratori sunt disponibile numai dupa prelucrare, caracteristicile tehnologice fac parte din categoria de parametri OFF-LINE.

Caracteristicile tehnologice cele mai des folosite sunt:

1) Pentru OP:

a)- Caracteristici de productivitate :

- volumul prelevării totale, V_P :

$$V_P = V_{iP} \cdot f_n \cdot t = \frac{m_{P1} - m_{P2}}{\rho_P} \quad [\text{mm}^3]; \quad (2.1.1)$$

unde: V_{iP} - volumul mediu al craterelor elementare, f_n - frecventa impulsurilor normale, t - durata prelucrării, m_{P1}, m_{P2} - masa OP inainte și dupa prelucrare, ρ_P - densitatea OP;

- productivitatea prelucrării, sau debitul prelevării, Q_P :

$$Q_P = \frac{V_P}{t} \quad [\text{mm}^3 / \text{min}]; \quad (2.1.2)$$

- productivitatea specifica a prelevării, q_{sp} :

$$q_{sp} = \frac{Q_P}{I_m} \quad [\text{mm}^3 / \text{min A}]. \quad (2.1.3)$$

unde : I_m - valoarea medie a intensitatii curentului de lucru.

b) - Parametrii calitativi ai prelucrării, definiti prin:

- abaterea liniara locala, A_L , a unei dimensiuni:

$$A_L = L_P - L_N \quad [\text{mm}], \quad (2.1.4)$$

unde: L_P este lungimea locala de prelucrare masurata in directia avansului sau o alta directie de control; L_N - valoarea nominala a aceleiasi dimensiuni.

- abaterea curbării locale, A_K , a suprafetei in punctul de control:

$$A_K = K_P - K_N \quad [\text{mm}^{-1}] \quad (2.1.5)$$

unde: K_P este curbura suprafetei generate; K_N - curbura nominala;

- abaterea orientării locale, φ_A a suprafetei fata de directia de control:

$$\varphi_A = \varphi_P - \varphi_N [^\circ] \quad (2.1.6)$$

unde φ_A este unghiul format intre directia de control si normala locala.

- caracteristicile de calitate a suprafetelor prelucrate:
 - rugozitatea exprimata prin unul din parametrii Ra, Rz, Rmax;
 - structura si proprietatile stratului de suprafata.

2) Pentru OT, - Caracteristicile de uzare a electrodului:

- volumul uzarii totale, V_E :

$$V_E = V_{iE} \cdot f_n \cdot t = \frac{m_{E1} - m_{E2}}{\rho_E} [\text{mm}^3]; \quad (2.1.7)$$

unde: V_{iE} - volumul mediu al craterelor din electrod, f_n - frecventa impulsurilor normale, t - durata prelucrarii, m_{E1} , m_{E2} - masa OT inainte si dupa prelucrare, ρ_E - densitatea materialului OT;

- debitul prelevarii, Q_E :

$$Q_E = \frac{V_E}{t} \quad [\text{mm}^3 / \text{min}]; \quad (2.1.8)$$

- debitul specific al uzarii, q_E :

$$q_E = \frac{Q_E}{I_m} [\text{mm}^3 / \text{min A}]; \quad (2.1.9)$$

- uzura relativa volumica, u_V :

$$u_V = \frac{Q_E}{Q_P} \cdot 100 \quad [\%]; \quad (2.1.10)$$

2) Pentru ansamblul OT-OP:

- marimea (grosimea) interstitiului :
 - frontal, g_{fr} ;
 - lateral, g_l .

Caracteristicile interstitiului vor fi prezentate in cap.3.

2.1.2.2. Parametrii de stare a procesului.

Parametrii de stare caracterizeaza momentan procesul de prelucrare si se obtin prin prelevarea de pe interstitiu a unor informatii direct disponibile sub forma

unor semnale electrice (tab.2.1.2). Interpretarea acestor informatii si modalitatile de prelevare vor fi prezentate pe larg in paragrafele urmatoare.

Tabelul 2.1.2.

B. PARAMETRII DE IESIRE			
B1. REZULTATUL PRELUCRARIII		B2. PARAMETRII DE STARE	
1. Productivitatea prelucrării	Q_p	1. Caracteristici ale impulsurilor: - intarzierea la amorsare - tensiunea pe descarcare - tensiunea medie pe interstitiu - amplitudinea impulsului de curent - curentul mediu prin interstitiu	t_a U_d U_m i_d I_m
2. Uzura electrodului scula: - liniara - volumica	u_i u_v	2. Numarul de impulsuri, frecventa: - in gol - normale (efective) - fictive, de diferite tipuri - in scurtcircuit	n_0, f_0 n_n, f_n n_f, f_f n_{sc}, f_{sc}
3. Calitatea prelucrării - precizia geometrica - rugozitatea - duritatea - tensiuni remanente - marimea zonei influentate termic - microfisuri (numar, dimensiuni)	R_a HRC H_{ZIT}	3. Coeficienti de eficienta a prelucrării: - durate relative de descarcare - pe impuls - in timp - numar relativ al descarcarilor : - normale - in gol - fictive, de diferite tipuri - in scurtcircuit - durata relativa a descarcarilor : - normale - in gol - fictive, de diferite tipuri - in scurtcircuit - frecventa relativa a descarcarilor: - normale - in gol - fictive, de diferite tipuri - in scurtcircuit	t_i / t_u $\Sigma t_i / \Sigma t_u$ n_n / n_i n_0 / n_i n_f / n_i n_{sc} / n_i t_n / t t_0 / t t_f / t t_{sc} / t f_n / f_i f_0 / f_i f_f / f_i f_{sc} / f_i
4. Marimea interstitiului	g	4. Stabilitatea prelucrării:	$t_{av} / t_{retr.}$
5. Costul prelucrării		5. Altele: - emisiune electromagnetica si/sau sonora (intensitate, banda de frecventa) - temperatura OT	

2.2. Cercetari pentru caracterizarea OFF-LINE a procesului de prelucrare.

Cercetarile au urmarit evidentierea dependentelor dintre caracteristicile tehnologice ale prelucrării și parametrii regimului de prelucrare, în scopul întocmirii unor baze de date și stabilirii de modele matematice pentru caracteristicile tehnologice ale prelucrării. Programul experimental a fost realizat pe mașini de prelucrare prin eroziune electrică cu electrod masiv tip ELER, echipate cu generatoare de impulsuri comandate, cu funcționare în regim izopuls, tip GEP 50 F și GEP 100 MF.

2.2.1. Stabilirea parametrilor de intrare și ieșire.

Procesul de prelucrare electroeroziv se desfășoară în principal datorită acțiunii termice a descărcării electrice în impuls [21,41,73,74,98,103,120] în prezența mediului dielectric lichid, acțiune cumulată cu evacuarea produselor de eroziune din interstitiu și mișcarea de avans. Ca urmare, parametrii de intrare - variabilele independente - luați în considerare sunt parametrii electrici/energetici ai impulsurilor și hidraulici (de circulație) ai dielectricului:

- polaritatea OT;
- tensiunea de mers în gol, U_0 ;
- amplitudinea curentului în descărcare, I_d ;
- forma (evoluția în timp) a impulsului de curent;
- durata descărcării, t_i ;
- timpul de pauză între impulsuri, t_p ;
- regimul de circulație a dielectricului (presiunea), p .

Valorile prescrise ale parametrilor de intrare sunt prezentate în tabelul 2.2.1, în acord cu caracteristicile generatoarelor de impulsuri

Tabelul 2.2.1. Parametrii prescrisi pe generatoarele de impulsuri.

Nr. crt.	Parametru	Generator GEP 50 F	Generator GEP MF
1.	Polaritate	+ / -	+ / -
2.	U_0	85 V	130, 265 V
3.	I_d	6, 12, 25, 50 A	1.5, 3.3, 6.3, 12, 25, 50, 100 A
4.	Forma impuls	dreptunghiular	dreptunghiular rampa cu palier drept
5.	t_i	1...1000 μ s	1...1000 μ s
6.	p	+ / - 0.2 bar	+ / - 0.2 bar

Parametrii de iesire urmariti in aceasta faza a cercetarilor au fost:

- productivitatea prelucrării, Q_p ;
- uzura relativa volumica a electrodului, u_v ;
- rugozitatea suprafetei prelucrate, Ra .
- interstitiul lateral g_l si frontal g_{fr} .

2.2.2. Rezultate experimentale.

2.2.2.1. Cercetarea procesului de eroziune prin experiment clasic.

In urma efectuării unui numar mare de experiente clasice s-a intocmit o baza de date a carei utilitate se remarca in doua directii:

1. tehnologica – pentru prescrierea OFF-LINE a parametrilor regimului de prelucrare (proiectarea tehnologiilor de prelucrare pe masini tip ELER);
2. stiintifica – pentru modelarea matematica a procesului de prelucrare prin eroziune electrica.

Dependentele dintre parametrii de iesire si cei de intrare, specificati in tabelul 2.2.1. au fost determinate prin efectuarea unui numar foarte mare de prelucrari experimentale clasice, ale caror rezultate sunt prezentate sub forma grafica in fig.2.2.1....2.2.12.

Prin interpretarea dependentilor prezentate sub forma grafica se pot trage urmatoarele concluzii cu caracter de generalitate:

- Productivitatea prelucrării prezinta o variatie extremala cu durata impulsurilor pentru o treapta de curent prescrisa – deci cu energia descarcarii (fig. 2.2.1, 2.2.2, 2.2.3, 2.2.4, 2.2.5);
- Uzura relativa volumica prezinta in general deasemenea o variatie extremala cu energia impulsurilor (fig.2.2.1, 2.2.3) dar si cu caracter monoton (fig.2.2.2, 2.2.6);
- Atat productivitatea cat si uzura relativa sunt putin influentate de tensiunea de amorsare (fig. 2.2.2);
- Interstitiul lateral prezinta variatie monotona cu energia impulsului (fig.2.2.8, 2.2.9, 2.2.10) si este influentat semnificativ de tensiunea de mers in gol a generatorului (fig.2.2.11);
- Rugozitatea suprafetei prelucrate creste cu energia impulsurilor (fig.2.2.12).

Aceste observatii ofera un punct de plecare pentru stabilirea formelor ecuatiilor de regresie ale indicatorilor tehnologici investigati.

In tabelul 2.2.2. sunt prezentate ecuatiile de regresie pentru unele dependente reprezentate grafic in figurile specificate.

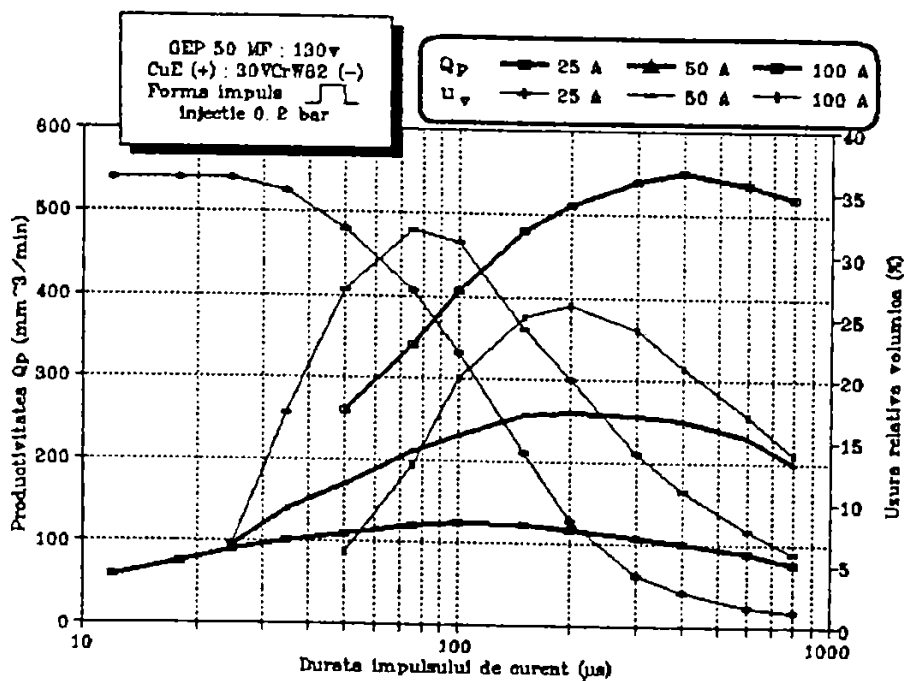


Fig.2.2.1. Variatia productivitatii si a uzurii relative cu durata impulsului pentru regim de degrosare cu generator GEP 50 MF (130 V).

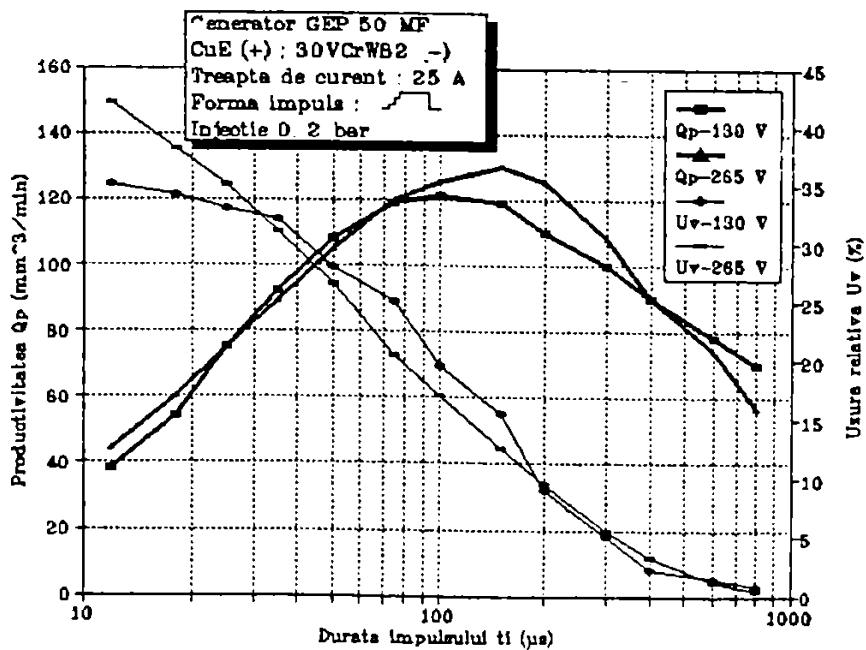


Fig.2.2.2. Variatia productivitatii si a uzurii relative cu durata impulsului pentru regim de degrosare cu generator GEP 50 MF (25 A).

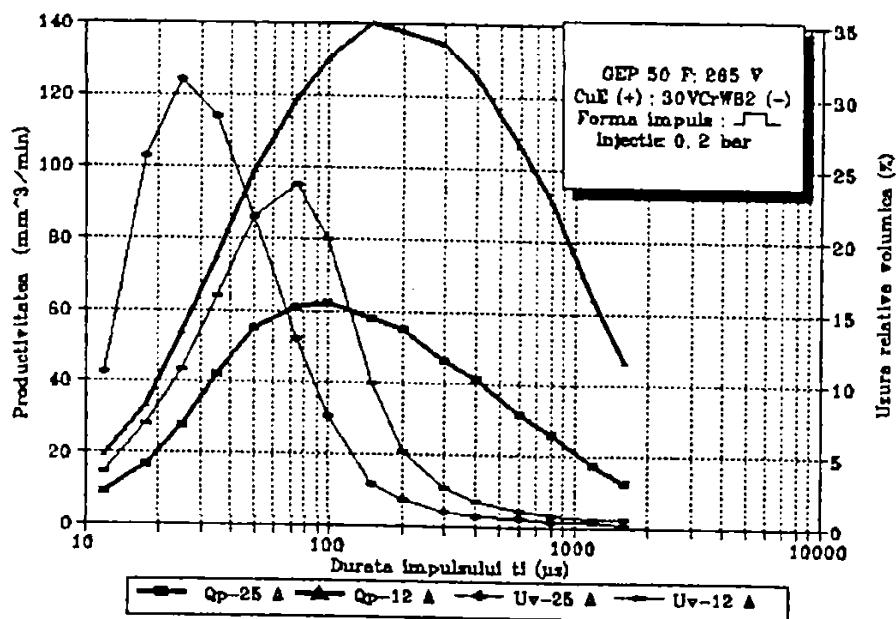


Fig.2.2.3. Variatia productivitatii si a uzurii relative cu durata impulsului pentru regim de semifinisare cu generator GEP 50 MF (265V).

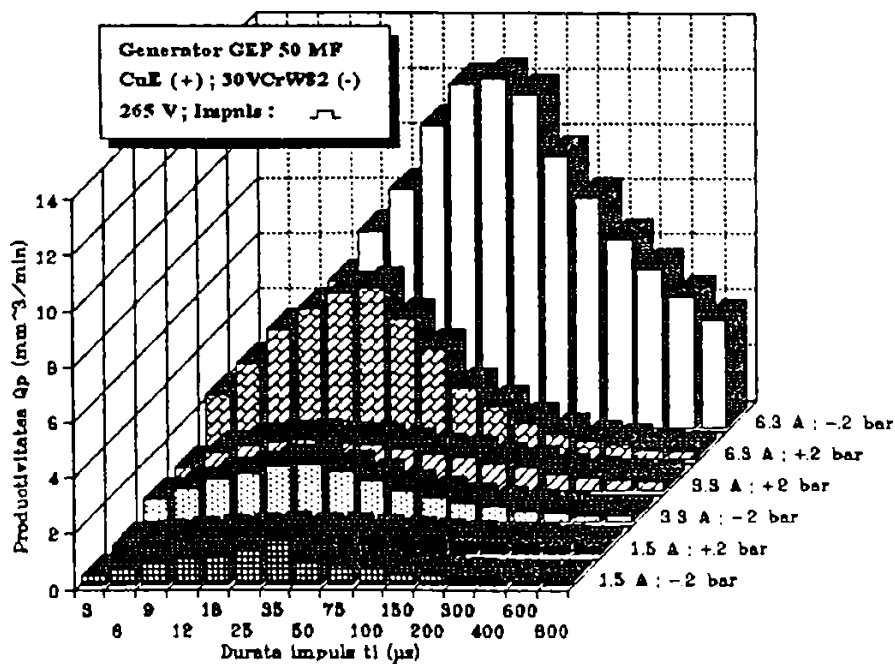


Fig.2.2.4. Variatia productivitatii cu durata impulsului pentru regim de finisare cu generator GEP 50 MF (265 V).

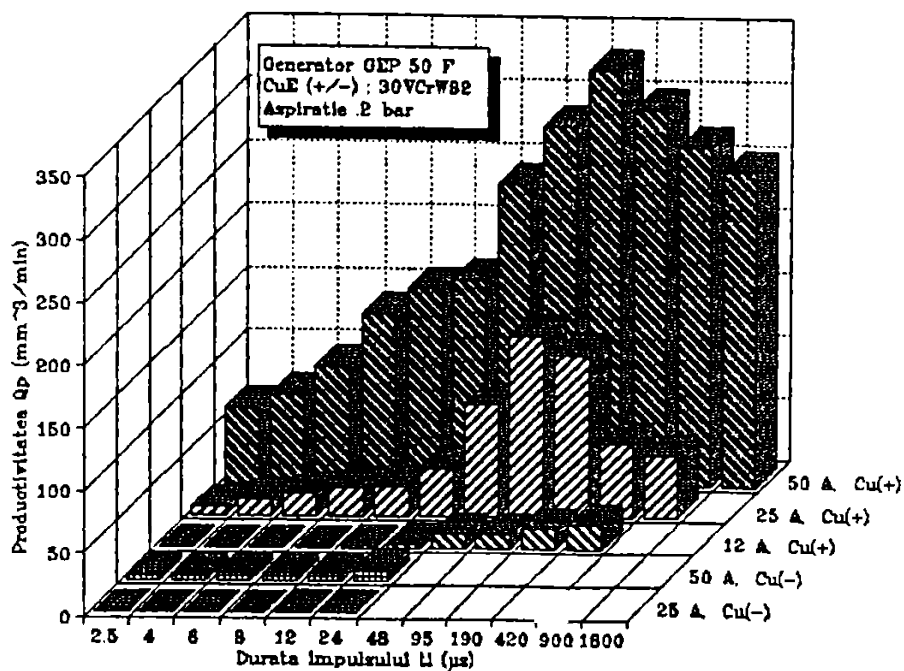


Fig.2.2.5. Variatia productivitatii cu durata impulsului pentru regim de degrosare cu generator GEP 50 F (80 V).

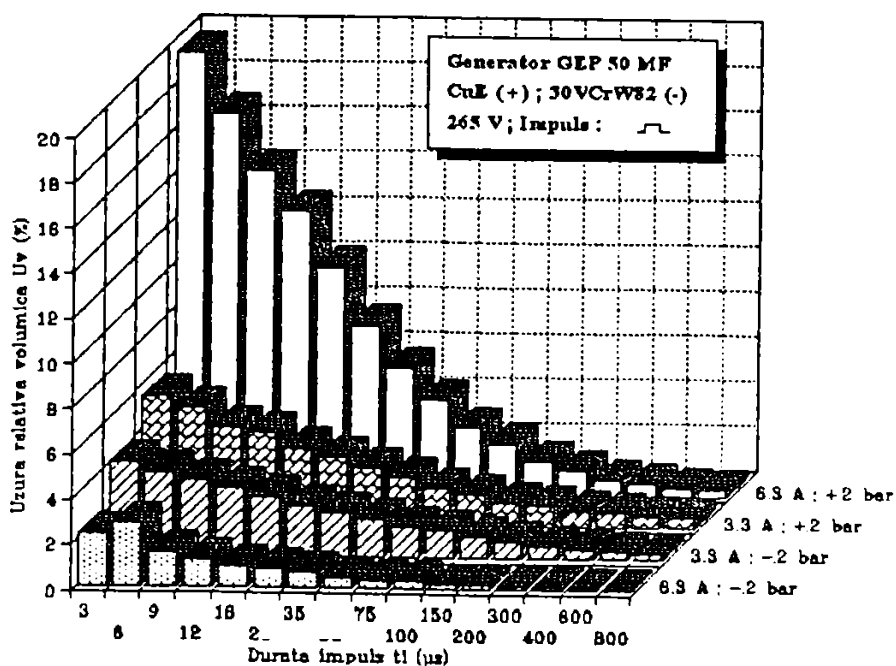


Fig.2.2.6. Variatia uzurii relative cu durata impulsului pentru regim de finisare cu generator GEP 50 MF (265 V).

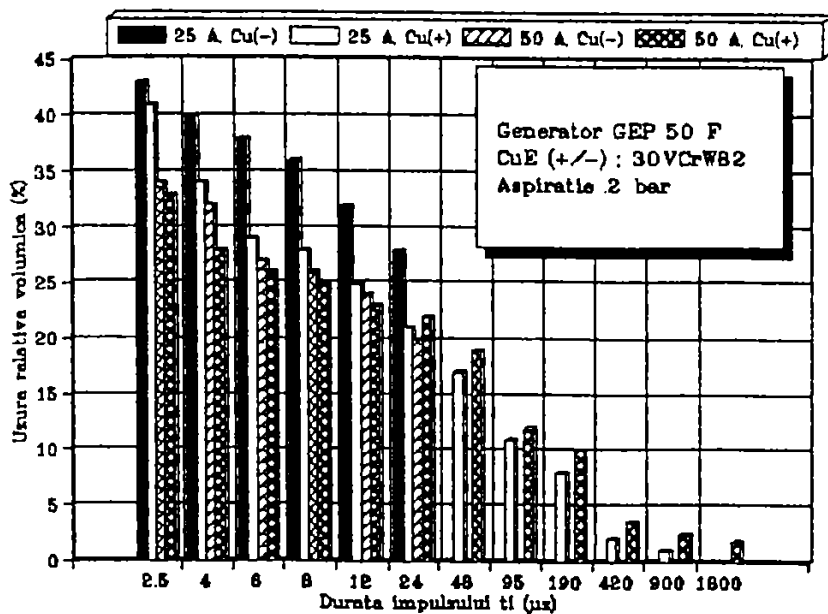


Fig.2.2.7. Variatia uzurii relative cu durata impulsului pentru regim de degrosare cu generator GEP 50 F (80 V).

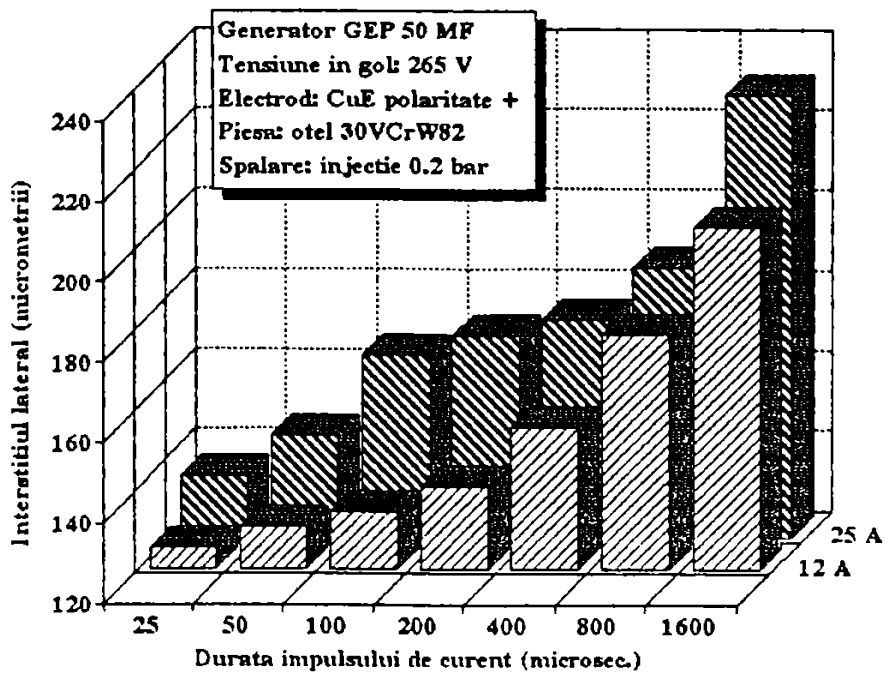


Fig.2.2.8. Variatia grosimii interstitiului lateral cu durata impulsului pentru regim de semifinisare cu generator GEP 50 MF (265 V).

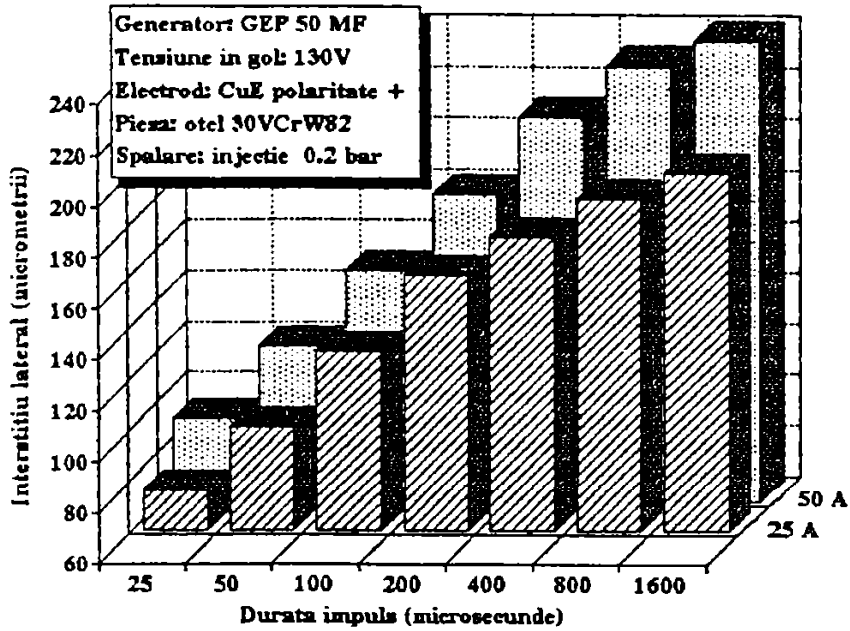


Fig.2.2.9. Variatia grosimii interstitiului lateral cu durata impulsului pentru regim de degrosare cu generator GEP 50 MF (130 V).

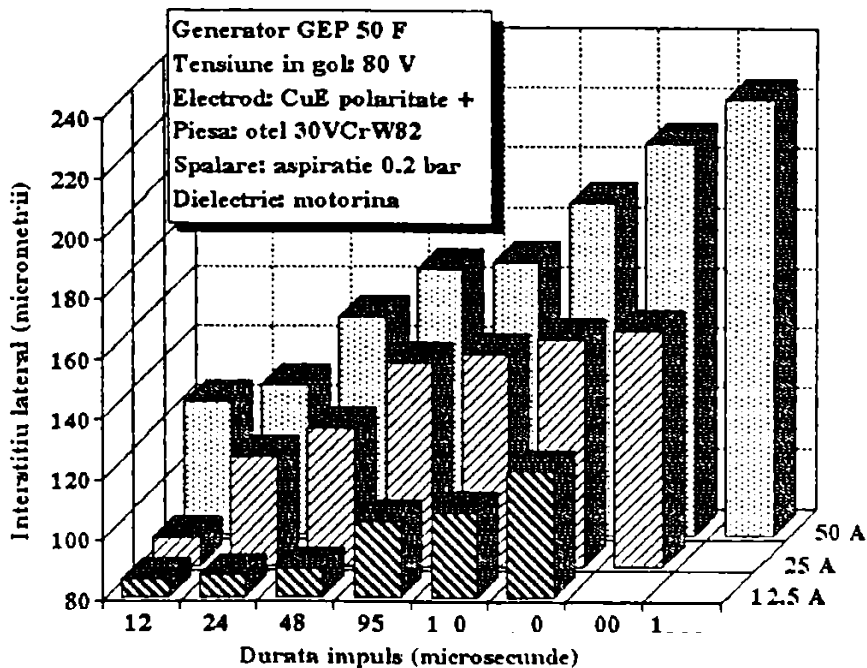


Fig.2.2.10. Variatia grosimii interstitiului lateral cu durata impulsului pentru regim de degrosare si semifinisare cu generator GEP 50 F (80 V).

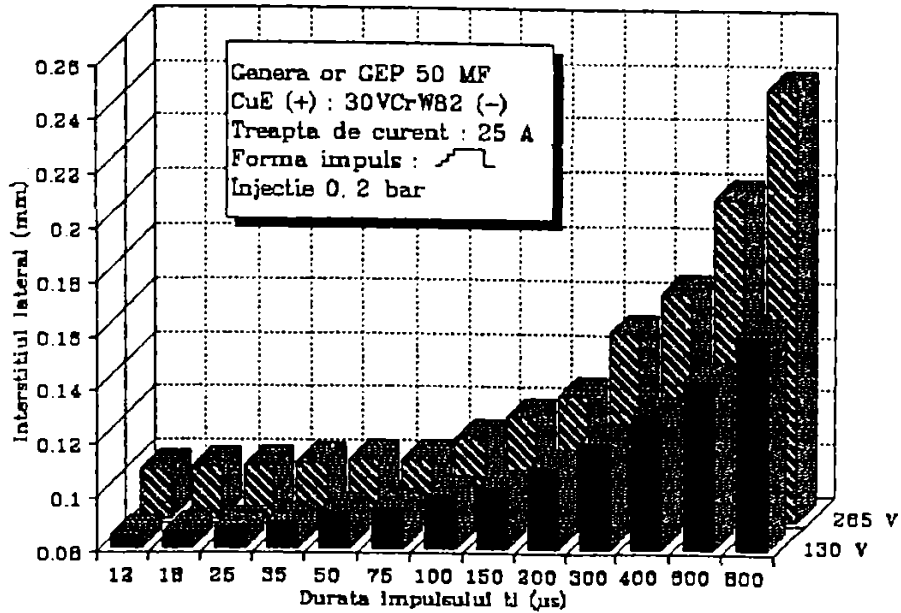


Fig.2.2.11. Variatia grosimii interstitiului lateral cu durata impulsului pentru regim de degrosare cu generator GEP 50 MF (130 V si 265 V).

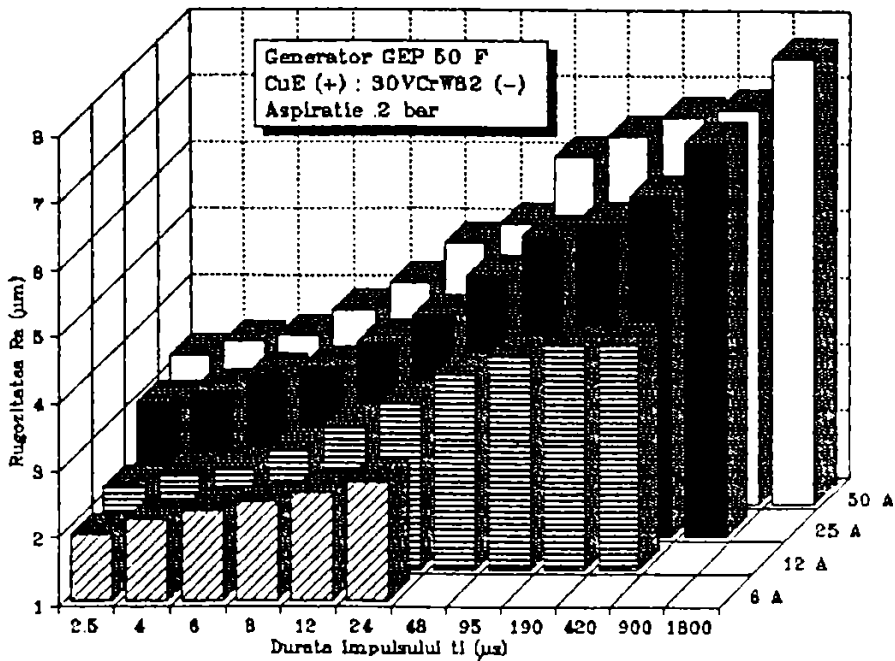


Fig.2.2.12. Variatia rugozitatii cu durata impulsului pentru regim de degrosare si semifinisare cu generator GEP 50 F (80 V).

Tabelul 2.2.2. Ecuatiile de regresie pentru ale caracteristicilor tehnologice Q_p si u_v .

Nr crt	Ecuatii de regresie	Coeficient de corelatie	Regim		Figura
			U_0 [V]	I [A]	
1	$Q_{P12} = 12.28 + 0.676 t_i - 2.59 10^{-3} t_i^2 + 3.06 10^{-6} t_i^3$	0.905	265	12	2.2.3
2	$Q_{P25} = 47.3916 + 0.607 t_i - 1.03 10^{-3} t_i^2 + 4.04510^{-7} t_i^3$	0.849	265	25	2.2.3
3	$Q_{P25} = 83.62 + 0.2243 t_i - 4.810^{-4} t_i^2 + 1.98 10^{-7} t_i^3$	0.823	130	25	2.2.1
4	$Q_{P50} = 115.3 + 0.93 t_i - 1.49 10^{-3} t_i^2 + 5.78 10^{-7} t_i^3$	0.892	130	50	2.2.1
5	$Q_{P100} = 219.4 + 1.73 t_i - 2.4110^{-3} t_i^2 + 8.56 10^{-7} t_i^3$	0.957	130	100	2.2.1
6	$u_{v12} = 13.671 - 2.57 10^{-2} t_i + 9.28 10^{-6} t_i^2 + 1.069 10^{-9} t_i^3$	0.811	265	12	2.2.3
7	$u_{v25} = 23.056 - 0.1214 t_i + 1.68310^{-4} t_i^2 - 6.33 10^{-8} t_i^3$	0.842	265	25	2.2.3
8	$u_{v25} = 38.74 - 0.176 t_i + 1.68310^{-4} t_i^2 - 8.46 10^{-7} t_i^3$	0.925	130	25	2.2.1
9	$u_{v50} = 19.52 + 1.59 10^{-2} t_i - 7.1310^{-5} t_i^2 + 3.44 10^{-8} t_i^3$	0.821	130	50	2.2.1
10	$u_{v100} = 5.78 + 0.116 t_i - 1.97 10^{-4} t_i^2 + 7.91 10^{-8} t_i^3$	0.825	130	100	2.2.1
11	$Q_{P130} = 50.12 + 0.875 t_i - 2.88 10^{-3} t_i^2 + 2.272 10^{-6} t_i^3$	0.846	130	25	2.2.2
12	$Q_{P265} = 49.665 + 0.954 t_i - 3.13 10^{-3} t_i^2 + 2.24 10^{-6} t_i^3$	0.925	265	25	2.2.2
13	$u_{v130} = 37.3173 \exp(-4.236 10^{-3} t_i)$	0.992	130	25	2.2.2
14	$u_{v265} = 35.2134 \exp(-5.64110^{-3} t_i)$	0.994	265	25	2.2.2
15	$g_{112} = 82.44 t_i^{0.116}$	0.948	265	12	2.2.8
16	$g_{125} = 99.899 t_i^{0.1019}$	0.959	265	25	2.2.8
17	$g_{125} = 40.994 t_i^{0.2367}$	0.963	130	25	2.2.9
18	$g_{150} = 50.299 t_i^{0.2266}$	0.974	130	50	2.2.9
19	$g_{1130} = 56.66 t_i^{0.1445}$	0.962	130	25	2.2.11
20	$g_{1265} = 54.55 t_i^{0.192}$	0.905	265	25	2.2.11

2.2.2.2. Premodelarea procesului de eroziune electrica.

Dintre metodele statistice utilizate pentru premodelarea unui proces tehnologic [127,161,163], in prezenta lucrare s-a optat pentru aplicarea metodei bilantului aleator, avandu-se in vedere disponibilitatea unui numar mare de rezultate experimentale. Prin aplicarea acestei metode se urmareste obtinerea de informatii asupra ponderii parametrilor de intrare – aferenti regimurilor de prelucrare, asupra indicatorilor tehnologici – productivitate, uzura relativa si grosimea interstitiului. Informatiile apriorice cat si experienta autorului conduc spre tratarea diferita a grosimii interstitiului fata de ceilalti indicatori din punctul de vedere al selectiei variabilelor independente luate in considerare.

a). - Stabilirea ordinii de influenta a parametrilor de regim asupra productivitatii prelucrarii si a uzurii relative.

Selectia variabilelor de intrare si ale nivelelor de variatie ale acestora sunt prezentate in tabelul 2.2.3, iar matricea de programare, in tabelul 2.2.4. Ordinea de desfasurare a experientelor a fost stabilita in mod aleator. Rezultatele, prezentate in tabelul 2.2.5 s-au obtinut prin rulara pe calculator PC a programului BILAL.BAS scris in limbaj GWBASIC.

b).- Stabilirea ordinii de influenta a parametrilor de regim asupra grosimii interstitiului lateral.

Tabelul 2.2.3. Variabilele de intrare ale procesului.

VARIABILA		NIVELE VARIABILA		INDICATOR	
Cod	Denumire	Cod	Specificatie	Cod	Denumire
1	Material OT	1	Cupru	1	Productivitate Q_p [mm ³ /min]
		2	Grafit		
2	Polaritate OT	1	+		
		2	-		
3	Curent i_d	1	25 A	2	Uzura relativa u_v [%]
		2	50 A		
4	Durata impuls t_i	1	24 μ s		
		2	190 μ s		
		3	900 μ s		

Tabelul 2.2.4. Programul experimental.

Nr. crt.	Nr. ordine	Parametrii variabili/ nivele				Indicatori	
		1	2	3	4	1	2
1.	6	1	1	1	1	38	21
2.	1	1	1	1	2	102	8
3.	21	1	1	2	3	50	1
4.	14	1	1	2	1	135	22
5.	5	1	2	1	2	220	10
6.	13	1	2	1	3	195	2.5
7.	4	1	2	2	1	1	28
8.	23	1	2	2	2	7	25
9.	3	1	1	1	3	12	10
10.	8	1	2	1	1	9	26
11.	15	1	1	2	2	13	24
12.	10	1	2	2	3	20	9
13.	9	2	2	1	1	127	3
14.	12	2	2	1	2	71	.6
15.	18	2	2	2	3	30	.2
16.	17	2	1	2	1	230	1.2
17.	16	2	1	1	2	150	.5
18.	19	2	1	1	3	99	1
19.	2	2	1	1	1	260	16.4
20.	22	2	1	2	2	240	14
21.	24	2	2	1	3	215	8
22.	11	2	2	2	1	320	15
23.	20	2	2	2	2	330	13
24.	7	2	1	2	3	280	10

Tabelul 2.2.5.Ordinea de influenta a factorilor independenti.

Funcția de raspuns		Ordine de influenta	Variabila independenta	
1	Productivitate Q_p	1	2	Polaritate OT
		2	1	Material OP
		3	3	Curent i_d
		4	4	Durata impuls t_i
2	Uzura relativa u_v	1	1	Material OP
		2	2	Polaritate OT
		3	4	Durata impuls t_i
		4	3	Curent i_d

Experientele au fost organizate ca si in cazul prezentat la punctul a), selectia variabilelor, matricea de desfasurare a experientelor si rezultatul final fiind prezentate in tabelele 2.2.6, 2.2.7 si 2.2.8.

Tabelul 2.2.6. Variabilele de intrare.

VARIABILA		NIVELE VARIABILA		INDICATOR	
Cod	Denumire	Cod	Specificatie	Cod	Denumire
1	Tensiune de amorsare U_0	1	85 V	1	Interstitial lateral g_l
		2	130 V		
		3	265 V		
2	Energia impulsului w_i	1	7.88 mJ		
		2	62.5 mJ		
		3	500 mJ		
3	Presiune de spalare p	1	+ .2 bar		
		2	- .2 bar		

Tabelul 2.2.7. Matricea de programare a experientelor.

Nr. crt.	Nr. ordine	Parametrii variabili/nivele			Indicator
		1	2	3	
1.	4	1	1	1	38
2.	8	1	2	2	96
3.	18	1	3	1	180
4.	2	2	1	2	35
5.	11	2	2	1	130
6.	15	2	3	2	185
7.	7	3	1	1	67
8.	13	3	2	2	152
9.	3	3	3	1	315
10.	6	1	1	2	30
11.	12	1	2	1	98
12.	17	1	3	2	150
13.	1	2	1	1	42
14.	9	2	2	2	102
15.	14	2	3	1	210
16.	10	3	1	2	52
17.	5	3	2	1	175
18.	16	3	3	2	251

Tabelul 2.2.8.Ordinea de influenta a variabilelor.

Indicator		Ordine de influenta	Parametru	
1	Interstitiul g_i	1	2	Energia impulsului
		2	1	Tensiunea de amorsare
		3	3	Presiunea de spalare

2.2.2.3. Modelarea matematica a procesului de prelucrare

Modelarea matematica reprezinta o faza uzuala a cercetarii in investigarea proceselor de prelucrare electroerozive. Utilizarea in practica a unor modele determinate statistic este acceptata sub toate aspectele, metodologia determinarii modelelor fiind riguroasa sub aspect matematic, rezultatele obtinute satisfacand necesitatile uzuale, iar metoda de interferenta statistica limiteaza substantial numarul de experiente necesare. In cadrul procesului de modelare matematica a prelucrarii prin eroziune electrica s-a urmarit determinarea legaturilor existente intre parametrii reglabili ai procesului si indicatorii tehnologici de interes, deci determinarea unor legaturi de corelatie. S-au parcurs cele doua etape caracteristice si anume:

- determinarea functiilor matematice pe baza analizei de regresie;
- testarea gradului de adecvanta a modelului prin analiza de corelatie.

Rezolvarea problemei s-a facut prin experiment activ in care scop s-a realizat un program factorial complet pentru determinarea unor modele liniare, de forma [161]:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i \cdot x_i + \sum_{i,j=1}^n b_{ij} \cdot x_i \cdot x_j \quad (2.2.1)$$

in care: y - functia de raspuns; x_i, x_j - parametrii procesului; b_0 - termenul liber; b_i - coeficientii ecuatiei de regresie.

Luand in considerare rezultatele cercetarilor preliminare, s-au stabilit urmatorii parametri, adaptati functiei de raspuns modelate (tabelul 2.2.9 – pentru Q_p si u_v , respectiv 2.2.10 – pentru g_l si g_{fr}).

Tabelul 2.2.9.Factorii variabili pentru Q_p si u_v .

Parametrii procesului						Funcții de raspuns
x_1	I_d [A]	x_2	t_f [μs]	x_3	p [bar]	Q_{pi}, u_{vi} $i = 85, 130, 265$ [V]
+1	50	+1	400	+1	+2	
-1	25	-1	50	-1	-2	

Tabelul 2.2.10.Factorii variabili pentru g_l si g_{fr} .

Parametrii procesului						Funcții de raspuns
x_1	U_0 [V]	x_2	w_1 [mJ]	x_3	p [bar]	g_l g_{fr}
+1	130	+1	500	+1	+2	
-1	85	-1	62	-1	-2	

Pentru ambele categorii de functii de raspuns s-au intocmit matricile de experimentare proiectate si prelucrate pe baza programului E_FACT scris in limbaj GWBASIC si a carui schema logica este prezentata in fig.2.2.13. Datele initiale luate in considerare sunt :

- Numarul factorilor independenti: $U = 3$
- Numarul functiilor de raspuns: $L = 1$ (se repeta experientele pentru fiecare functie de raspuns dorita)
- Numarul de replici: $R = 3$
- Numarul de experiente: $N = 2^U = 2^3 = 8$

Matricea de experimentare pentru indicatorul Q_{P85} este prezentata in tabelul 2.2.11.

Tabelul 2.2.11 Matricea de programare a experientelor.

Nr.puncte experimentale	x_0	Factori			Functia de raspuns y				s_u^2
		x_1	x_2	x_3	Replica 1	Replica 2	Replica 3	y_n	
1	+1	-1	-1	-1	85	94	90	87	20
2	+1	+1	-1	-1	235	272	260	256	356
3	+1	-1	+1	-1	57	63	58	58	4.3
4	+1	+1	+1	-1	281	307	268	288	381
5	+1	-1	-1	+1	81	75	92	83	74
6	+1	+1	-1	+1	231	258	220	236	382
7	+1	-1	+1	+1	59	54	62	59	30
8	+1	+1	+1	+1	265	296	302	287	394

Modelele matematice ale productivitatilei, uzurilor relative si ale grosimilor interstitiului, ale caror adecvante a fost confirmate prin testul Fischer, sunt:

$$Q_{P85} = 169.75 + 97.167 \cdot 10^{-2} x_1 + 3.67 \cdot 10^{-2} x_2 - 3.25 x_3 + 17.25 \cdot 10^{-4} x_1 x_2 \quad (2.2.2)$$

$$Q_{P130} = 194 + 50.375 \cdot 10^{-2} x_1 + 64 \cdot 10^{-2} x_2 - 11.85 x_3 \quad (2.2.3)$$

$$Q_{P265} = 149.625 + 46 \cdot 10^{-2} x_1 + 19.25 \cdot 10^{-2} x_2 - 8.5 x_3 \quad (2.2.4)$$

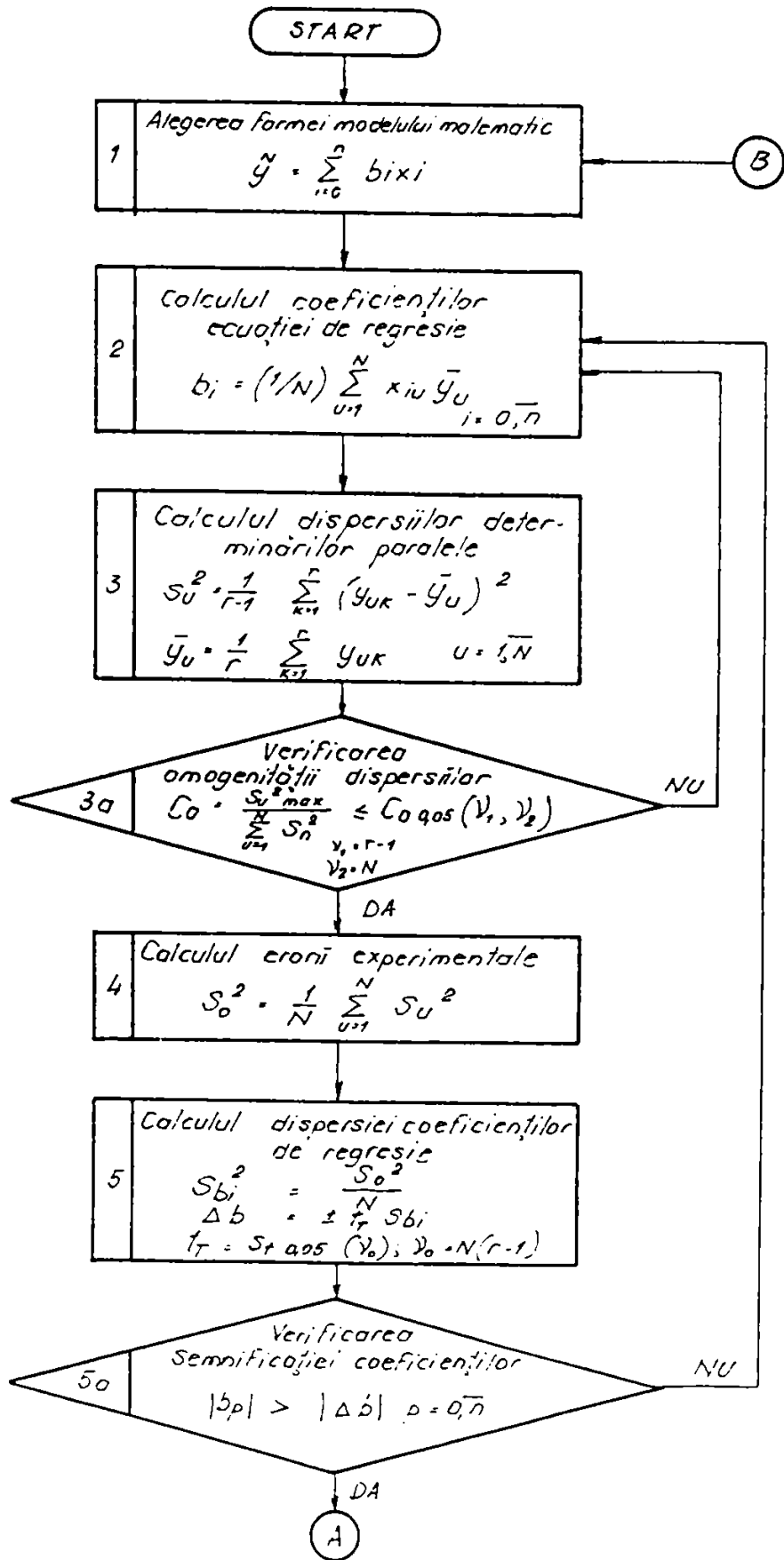
$$U_{V85} = 9.625 - 1.12 \cdot 10^{-2} x_1 - 6.5 \cdot 10^{-3} x_2 + 8.875 x_3 \quad (2.2.5)$$

$$U_{V130} = 15.23 + 3.03 \cdot 10^{-2} x_1 - 10.643 \cdot 10^{-3} x_2 + 1.0938 x_3 \quad (2.2.6)$$

$$U_{V265} = 14.781 + 2.78 \cdot 10^{-2} x_1 - 9.218 \cdot 10^{-3} x_2 + 0.7562 x_3 \quad (2.2.7)$$

$$g_l = 155,6875 + 14.56 \cdot 10^{-2} x_1 + 31.56 \cdot 10^{-3} x_2 + 13.438 x_3 \quad (2.2.8)$$

$$g_{fr} = 260.31 + 21.94 \cdot 10^{-2} x_1 + 59.312 \cdot 10^{-3} x_2 + 25.07 x_3 \quad (2.2.9)$$



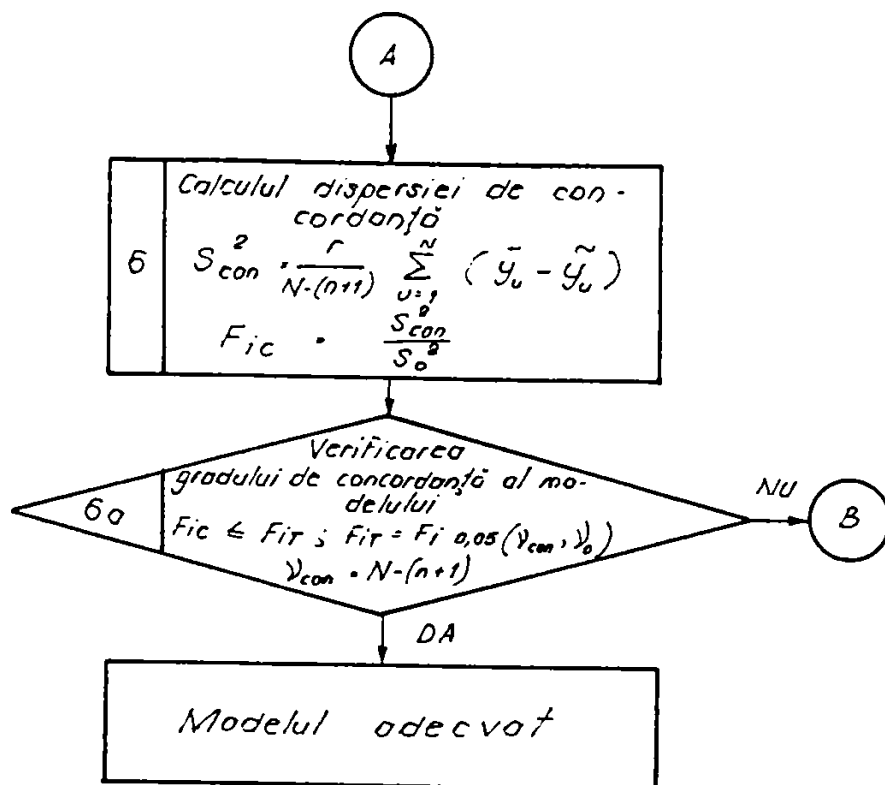


Fig.2.2.13. Schema logica a programului E_FACT.

Concluzii:

- In regim OFF-LINE se poate realiza optimizarea prelucrarilor pe baza modelelor matematice stabilite pentru caracteristicile tehnologice Q_P , u_V si g_i .
- Grosimea interstitiului frontal, g_{fr} care depinde de valorile parametrilor OFF-LINE ai regimului de prelucrare, este supusa reglarii automate. Aceasta operatie nu poate fi realizata in regim OFF-Line, fiind necesara folosirea unor parametri de reactie ON-LINE, problema care va fi tratata in cap.3

2.3. Caracterizarea procesului de prelucrare in timp real.

2.3.1. Fluxul informational la EDM.

Rezultatele cercetarilor prezentate in paragraful 2.2. ofera posibilitatea optimizarii prelucrarii prin prescrierea parametrilor de regim in conformitate cu functia obiectiv urmarita: Q_p , u_v , R_a etc.

In literatura de specialitate [20,50,55,58,164] sunt prezentate strategii de optimizare in regim OFF-LINE pentru diferite functii obiectiv singulare sau compuse. Aceste strategii folosesc date prelevate din banci de date sau determinate cu modele matematice adecvate, obtinute in regim OFF-LINE. Deficienta majora a acestor date consta in caracterul lor particular, in sensul ca ele au fost determinate in conditiile unor prelucrari "standardizate". La prelucrarile reale, abaterile fata de situatiile standard actioneaza ca si perturbatii care pot altera semnificativ valorile caracteristicilor tehnologice scontate. Pentru asemenea cazuri se poate afirma ca circuitul informational (fig.3.2.1) este in bucla deschisa, rezultatele operatiei programate nefiind disponibile in timp real, util efectuarii unor corectii eficiente. Depasirea acestui neajuns este posibila prin utilizarea parametrilor de stare pentru inchiderea buclei de reactie.

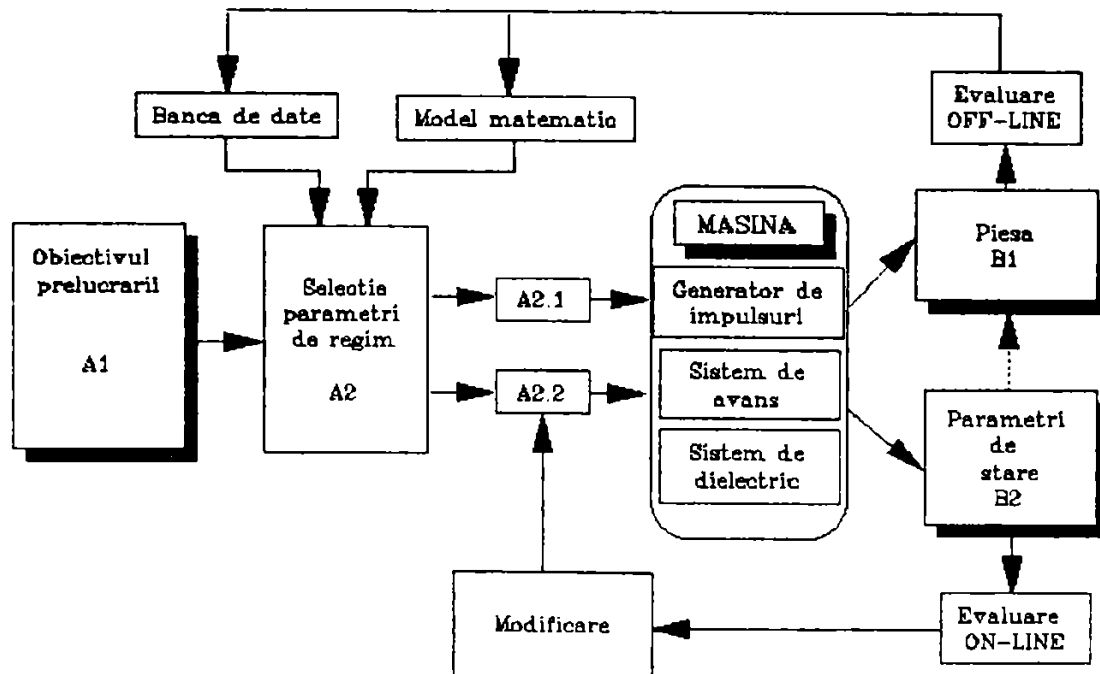


Fig.2.3.1. Fluxul informational la EDM.

2.3.2. Tipuri de impulsuri la EDM.

Efectele tehnologice ale descarcarii electrice in impuls au fost studiate de un numar mare de cercetatori [1,19,21,43,53,59,144,154]. Sinteza concluziilor desprinse din aceste studii conduce la caracterizarea impulsurilor conform clasificarii prezentate in fig.2.3.1.

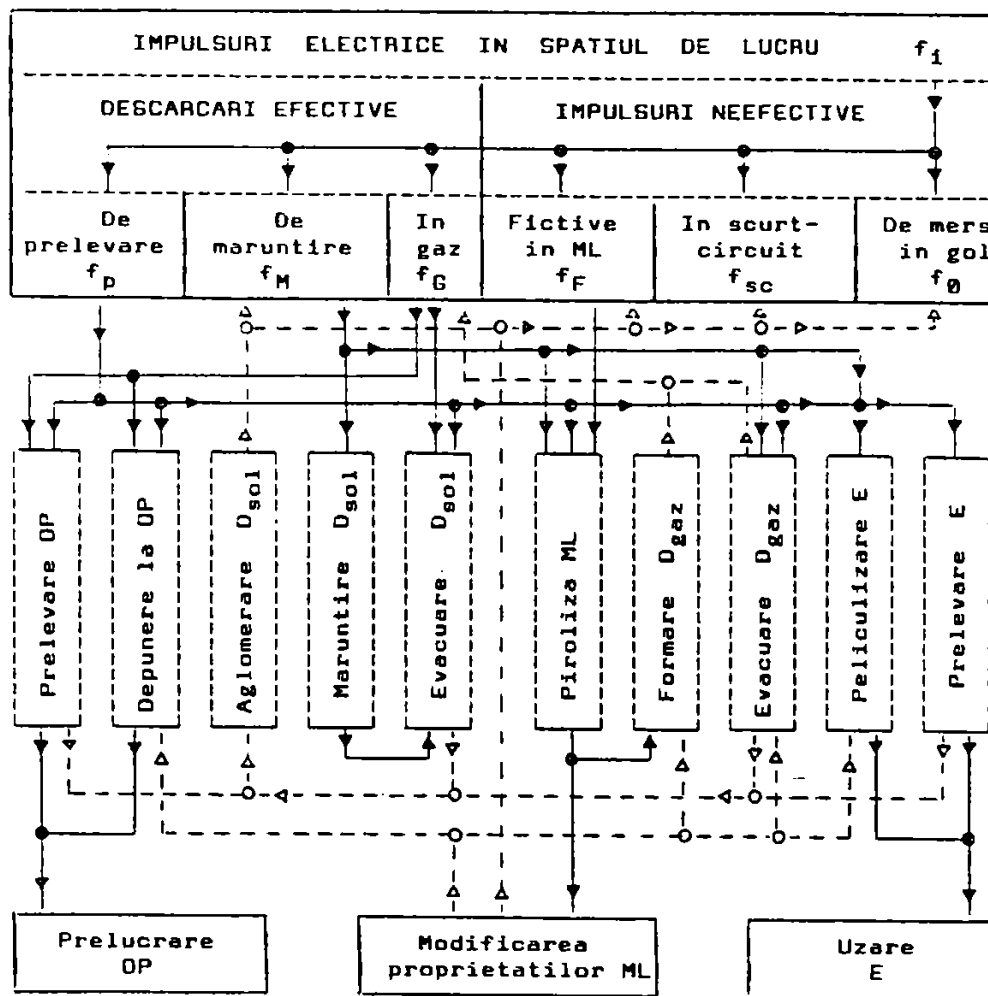


Fig.2.3.2. Clasificarea impulsurilor electrice dupa efectele lor tehnologice.

Caracteristica statica (fig. 2.3.3.) a unei descarcari electrice generate prin comutare evidentiaza fazele semnificative din punct de vedere fenomenologic:

I - durata intarzierii la amorsare, corespunzatoare pregatirii strapungerii rigiditatii dielectrice a interstitiului;

II - faza de strapungere, corespunzatoare unor variatii mari ale curentului si

tensiunii : $\frac{di}{dt} > 0$, $\frac{du}{dt} < 0$. In acesta faza se manifesta efectul Skin de refulare a curentului la marginea canalului descarcarii;

III - faza de stabilizare a curentului si tensiunii: $\frac{di}{dt} \approx 0, \frac{du}{dt} \approx 0$, cand se manifesta efectul Pinch de constrictie a canalului descarcarii. Durata acestei faze trebuie limitata la $t_i < 1000...2000 \mu s$ prin intreruperea tensiunii de alimentare.

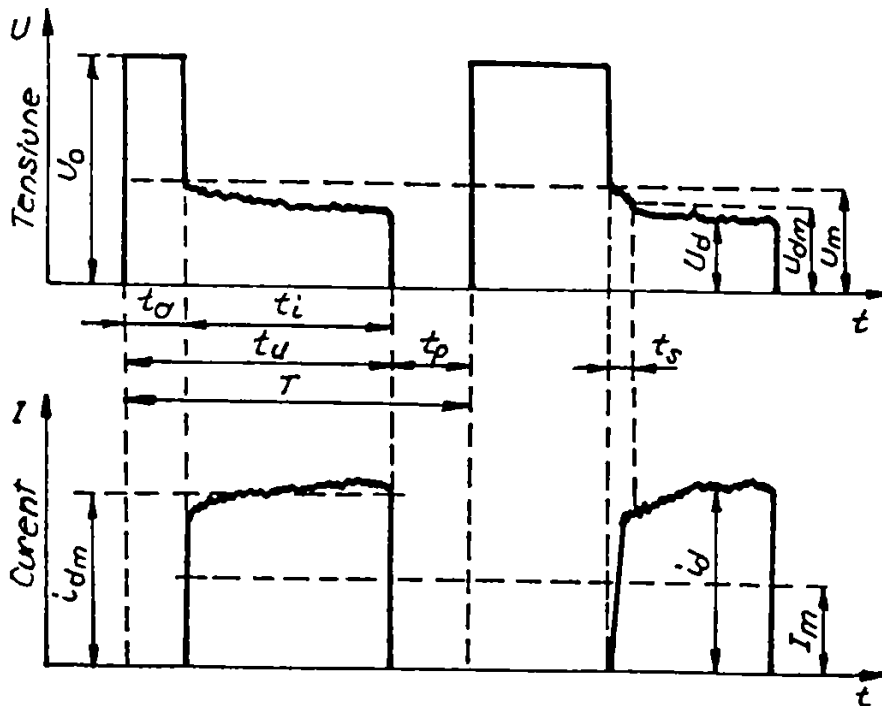


Fig.2.3.3. Caracteristica dinamica a descarcarii electrice in impuls.

Miscarea purtatorilor de sarcini prin canalul descarcarii are un caracter statistic, ceea ce la nivel macroscopic se manifesta prin prezenta unui zgomot de inalta frecventa, suprapus peste valorile medii ale tensiunii si curentului.

IV - faza intreruperii descarcarii, cand $\frac{du}{dt} < 0, \frac{di}{dt} < 0$. Studii efectuate asupra momentelor de inceput si de sfarsit a descarcarii electrice si ale consecintelor acestor momente asupra caracteristicilor tehnologice ale prelucrarii au evidentiat [15] utilitatea limitarii pantei curentului in fazele II si IV, respectiv modularii curentului in faza III, rezultand caracteristici $i(t)$ de tipul celui prezentat in fig. 2.3.4 care se pot prescrie pe generatoarele tip GEP - MF.

In concluzie, un impuls electric definit ca fiind de tip efectiv (normal, de lucru) se identifica prin urmatoarea variatie in timp $u(t)$ a tensiunii:

- prezenta unei intarzieri la amorsare, t_a , masurata din momentul aplicarii impulsului de tensiune;
- caderea tensiunii in faza de strapungere de la valoarea de mers in gol (U_0) la valoarea tensiunii medii pe descarcare (u_d). Panta de cadere este finita si la sfarsitul fazei se manifesta o zona (durata) de racordare;

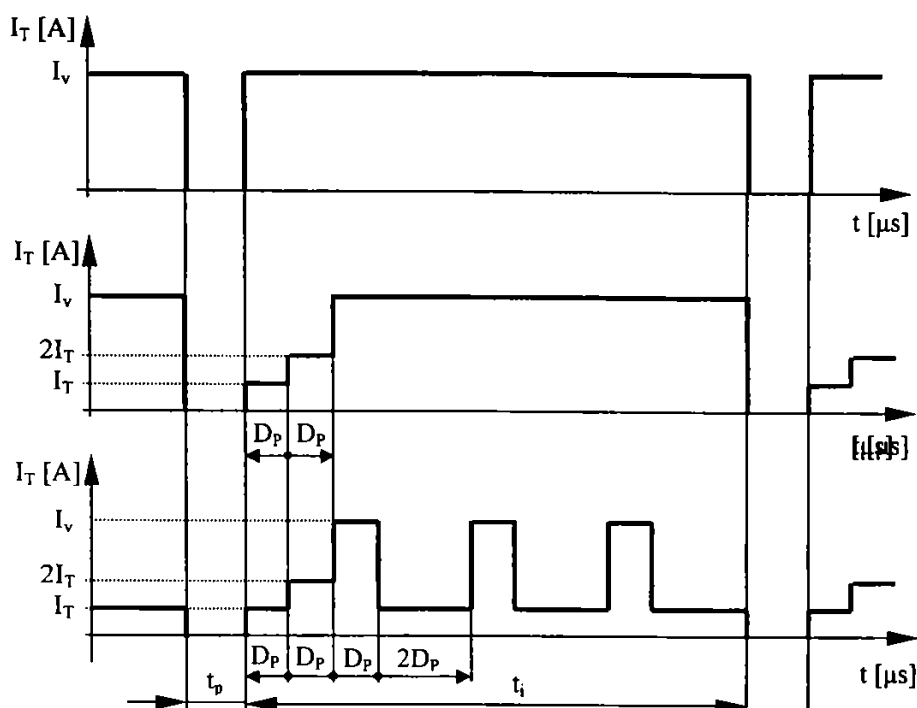


Fig.2.3.4. Tipuri de impulsuri de curent modulate;
 1.- dreptunghiular;
 2.- rampa cu palier drept;
 3.-rampa cu palier pieptene.

c) - existenta unui palier cu valoarea medie $u_d \in [15,25]$ V, dependenta de materialele piesei si electrodului, de lichidul dielectric si de regimul energetic de prelucrare. Peste tensiunea medie se suprapune o tensiune de zgomot de inalta frecventa;

d) - caderea tensiunii la valoarea zero, pe durata pauzei dintre impulsuri.

Impulsurile ale caror caracteristici $u(t)$ se abat de la cele ale impulsurilor definite ca fiind normale sunt considerate impulsuri neefective.

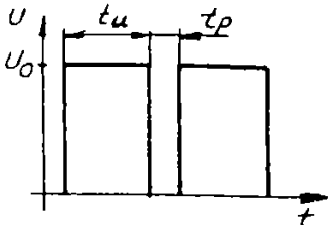
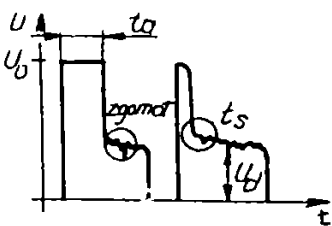
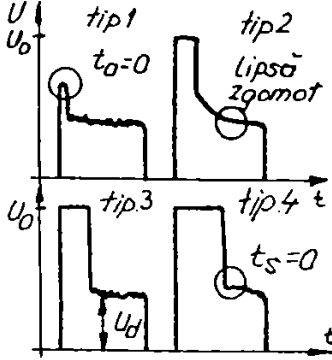
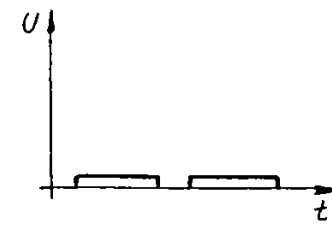
Observatie: Impulsurile de prelevare si de maruntire sunt ambele considerate ca impulsuri normale, desi efectele lor tehnologice sunt diferite. Dupa caracteristica $u(t)$, cele doua categorii de impulsuri nu pot fi separate cu suficienta precizie, intrucat conditiile de amorsare si de evolutie sunt practic identice.

2.3.3. Cercetari privind discriminarea impulsurilor.

Starea momentana a interstitiului poate fi cunoscuta interpretand caracteristicile descarcarilor electrice in concordanta cu efectele tehnologice cunoscute ale acestora. Evidentierea acestor caracteristici individuale sau de grup ale impulsurilor se poate face utilizand un numar de aparate de masura completate cu circuite specializate care impreuna formeaza un "traductor" al starii interstitiului, cunoscut in literatura sub numele de analizor de impulsuri EDM [35, 62, 135, 154, 162].

Semnalele care se pot obtine de pe interstitiul eroziv, in cazul utilizarii unui generator de impulsuri comandate, cu functionare in regim izofrecventa sunt prezentate in tabelul 2.3.1.

Tabelul 2.3.1. Tipuri de impulsuri la prelucrarea prin eroziune electrica

Tipul de impuls	Forma impulsului	Caracteristici electrice	Efecte tehnologice si secundare
in gol		$u = U_0$ pe toata durata t_i ; $i = 0$	-fara prelevare de material
descarcari normale		$0 < t_a < t_i$ $U_d = 15 \dots 30 \text{ V}$ $t_{cr} \neq 0$ $i \neq 0$ zgomot de RF	-prelevare efectiva de material la obiectul prelucrarii; -uzura obiectului de transfer
descarcari anormale (fictive)		$t_a = 0$ lipsa zgomot $U_d < 15 \text{ V}$ $t_{cr} = 0$ $i \neq 0$	-prelevare redusa de material; -uzura mare a sculei; -cocsificare frecventa intre electrozi
scurtcircuit		$u \approx 0$ $i \neq 0$	-fara prelevare de material -uzura mare a sculei; - distrugerii frecvente ale electrozilor

Interesul maxim trebuie acordat descarcilor normale (efective) care trebuie maximizate in raport cu celelalte tipuri de impulsuri, acestea fiind cele care produc efecte tehnologice utile – prelevare efectiva de material din semifabricat si uzura

redusa a electrodului-scula. In acelasi timp, datorita efectelor negative pe care le produc – uzura excesiva (chiar avariere) a sculei, cocsificare intre electrozi – trebuie evidentiata si descarcarile anormale si de scurtcircuit, iar pentru optimizarea prelucrarii este utila si masurarea numarului sau duratelor impulsurilor de mers in gol.

2.3.3.1. Analizorul de impulsuri.

Pentru investigarea procesului de prelucrare prin eroziune electrica in regim ON-LINE, au fost proiectate, realizate si testate doua variante de discriminator (analizor) de impulsuri EDM, al caror principiu de functionare se bazeaza pe evolutia in timp a tensiunii impulsurilor electrice intre doua nivele de referinta: U_L (low) si U_H (high). La iesire, analizorul furnizeaza semnale logice corespunzatoare tipurilor de impulsuri discriminate:

- x_0 - pentru impulsurile in gol;
- x_n - pentru impulsurile normale (de lucru, efective);
- x_f - pentru impulsurile fictive;
- x_{sc} - pentru impulsurile in scurtcircuit.

Prima varianta, care a fost realizata cu circuite logice TTL are schema de principiu prezentata in fig. 2.3.5. Starile logice in diferite puncte ale schemei sunt precizate in tabelul 2.3.2.

Tensiunea momentana a impulsului este comparata cu nivelele U_H si U_L prin comparatoarele integrate A1 si A2 (CLB 2711), la iesirile carora se obtin semnalele logice x_H si x_L . Succesiunea in timp a acestor semnale ofera posibilitatea discriminarii impulsurilor normale fata de cele fictive de tip 1 (tab. 2.3.1), prin intermediul unui element de memorie - bistabilul tip RS realizat cu portile SI-NU p1 si p2 din capsula CDB 400; in continuare, schema logica combinationala realizata cu portile SI p3, p4, p5 (CDB 408) genereaza semnalele x_n , x_f , x_{sc} , conform functiilor logice specificate. Pentru evidentierea descarcarilor in scurtcircuit, fata de duratele pauzelor dintre impulsuri se utilizeaza suplimentar semnalul x_p al bazei de timp al generatorului de impulsuri ($x_p = "1"$ pentru pauza intre impulsuri). Aceasta varianta de analizor nu permite discriminarea impulsurilor fictive tip 2, 3, 4 (tab.2.3.1) fata de cele normale.

Varianta a II-a de analizor de impulsuri (fig.3.2.6, tab. 2.3.3) permite evidentierea si a impulsurilor fictive tip 3 (cu $u_d < U_L$), printr-un circuit bistabil RS suplimentar, realizat cu portile p6, p7. Aceasta varianta a fost implementata cu circuite logice CMOS, care au permis obtinerea urmatoarelor avantaje: drept comparatoare de tensiune s-au folosit porti SI-NU trigger Schmitt (p1 si p2 din capsula MMC 4093), utilizand ca tensiune de referinta pragul de basculare al

triggerului; in acest fel s-a simplificat semnificativ circuitul de intrare;

- imunitate la zgomot superioara circuitelor TTL, caracteristica importanta in cazul utilizarii circuitelor in mediu puternic parazitat electromagnetic (cum este in vecinatatea unui proces electroeroziv);
- tensiune de alimentare mai mare (12V cc) si consum redus de putere.

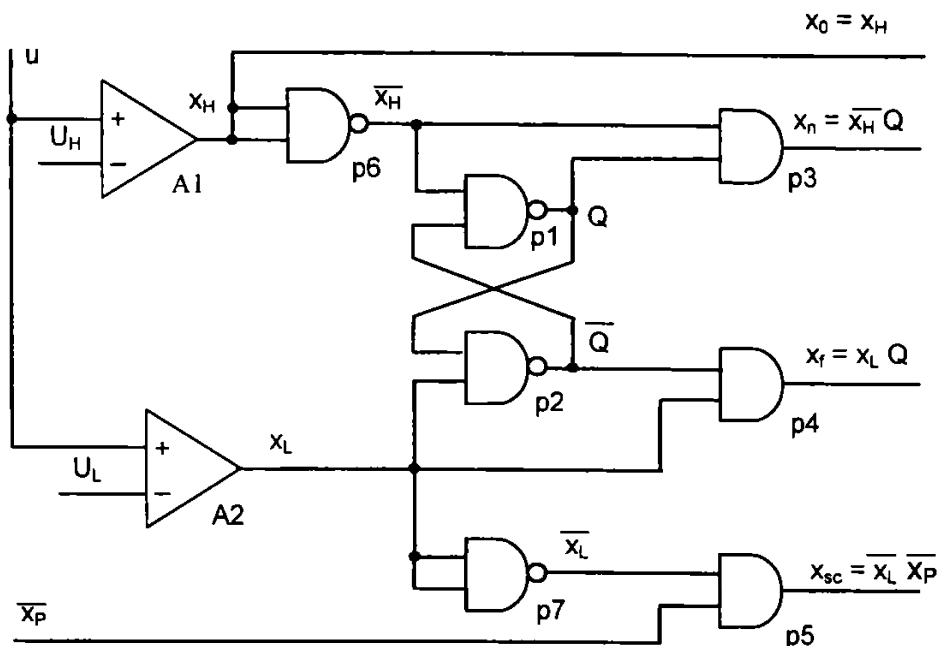


Fig.2.3.5. Schema discriminatorului de impulsuri EDM, varianta I-a.

Tabelul 2.3.2. Starile variabilelor discriminatorului de impulsuri, varianta I-a.

x_p	x_H	x_L	Q	x_0	x_n	x_f	x_{sc}	Starea in interstitiu
1	0	0	0	0	0	0	0	pauza intre impulsuri $u = 0$
0	1	1	1	1	0	0	0	mers in gol $u > U_H$
0	0	1	1	0	1	0	0	descarcare efectiva $U_L < u < U_H$
1	0	0	0	0	0	0	0	pauza intre impulsuri $u = 0$
0	0	1	0	0	0	1	0	descarcare fictiva $t_a = 0$
1	0	0	0	0	0	0	0	pauza intre impulsuri $u = 0$
0	0	0	0	0	0	0	1	scurtcircuit $u < U_L$ SI $x_p = 0$

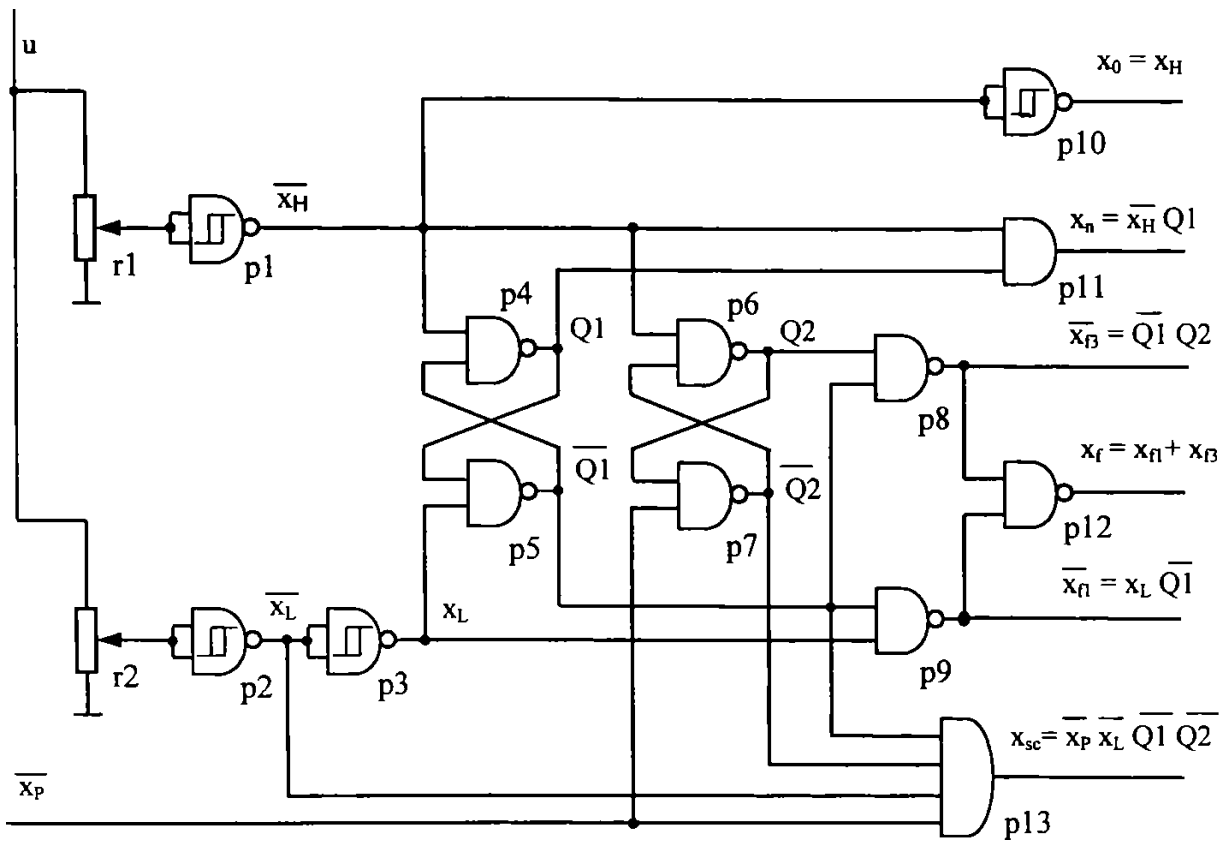


Fig. 3.2.6. Schema discriminatorului de impulsuri EDM – varianta a II-a.

Tabelul 2.3.3. Starile variabilelor discriminatorului de impulsuri, varianta a II - a

x_p	x_H	x_L	Q_1	Q_2	x_0	x_n	x_{f1}	x_B	x_{sc}	Starea in interstitiu
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	pauza intre impulsuri $u = 0$
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	mers in gol $u > U_H$
0	0	1	1	1	0	1	0	0	0	descarcare normala $U_L < u < U_H$
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	pauza intre impulsuri $u = 0$
0	0	1	0	0	0	0	1	0	0	desc. fictiva tip 1 $t_a = 0$
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	pauza intre impulsuri $u = 0$
0	1	1	1	1	1	0	0	0	0	mers in gol $u > U_H$
0	0	0	0	1	0	0	0	1	0	desc. fictiva tip 3 $0 < u < U_L$
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	pauza intre impulsuri $u = 0$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	scurtcircuit $u < U_L$ SI $x_p = 0$

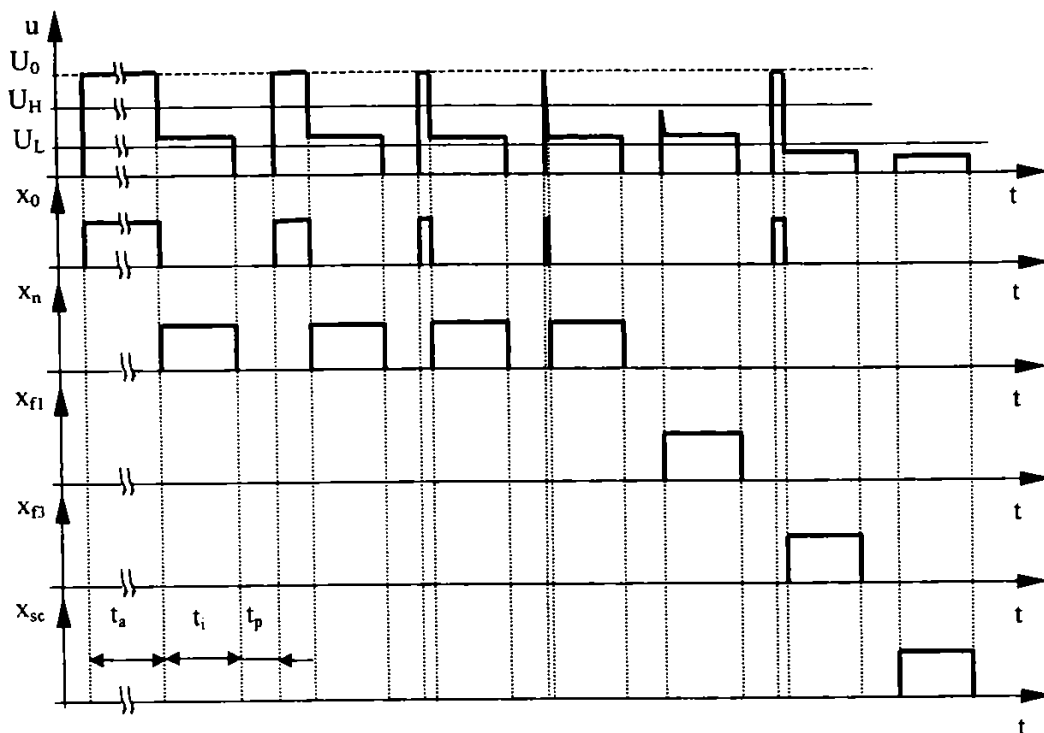


Fig.2.3.7. Discriminarea tipurilor de impulsuri pentru generatoare izopuls.

2.3.3.2. Simularea procesului de prelucrare.

Corectitudinea informatiilor furnizate de discriminatorul de impulsuri este conditionata de calibrarea (etalonarea) corecta a acestuia, in concordanta cu parametrii generatorului de impulsuri care alimenteaza cu energie interstitiul. In conditii concrete de prelucrare, multimea perturbatiilor afecteaza procesul de prelucrare – deci si caracteristicile impulsurilor electrice – in mod aleator. Ca urmare, s-a impus necesitatea simularii unor prelucrari ideale, lipsite de perturbatii, prin generarea programata a unor secvente de impulsuri electrice cu caracteristicile din tabelul 2.3.1. In acest scop a fost proiectat si realizat de catre autor un "Simulator de impulsuri EDM" [99] a carui schema bloc este prezentata in fig. 2.3.8. In fig.2.3.9 se prezinta constructia simulatorului si oscilograma impulsurilor generate.

Blocurile functionale au fost realizate cu circuite integrate TTL si tranzistoare bipolare si indeplinesc urmatoarele functii:

- generarea duratei t_a , fixa sau programat variabila; aceasta se realizeaza printr-un circuit monostabil programabil printr-o tensiune de comanda continua - prescrisa extern sau lent variabila – generata intern ;

- generarea duratelor t_i si t_p in secvente corespunzatoare functionarii generatorului de impulsuri in regim izofrecventa sau izopuls;
- generarea unui zgomot alb care se poate suprapune peste palierul corespunzator descarcarii (u_d);
- generarea duratei de crestere a curentului , respectiv de cadere a tensiunii, t_{cr} ;
- modificarea nivelului tensiunii pe descarcare, u_d ;
- generarea semnalului corespunzator de curent; I_d ;
- generarea unor impulsuri de sincronizare (baza de timp).

Parametrii de functionare a simulatorului sunt:

- tensiunea corespunzatoare mersului in gol : 8 V;
- tensiunea corespunzatoare descarcarii : 0...3 V;
- impedanta de iesire: 600 Ω ;
- duratel impulsului si pauzei: 2.5...2000 μ s;
- durata de crestere a curentului : 0...2 μ s;
- tensiunea de zgomot: 0...0.3 Vv-v.

In afara destinatiei initiale – calibrarea discriminatorului de impulsuri, simulatorul poate fi utilizat in activitati de depanare/reglare a generatoarelor de impulsuri si sistemelor de avans ale masinilor de prelucrat prin eroziune electrica.

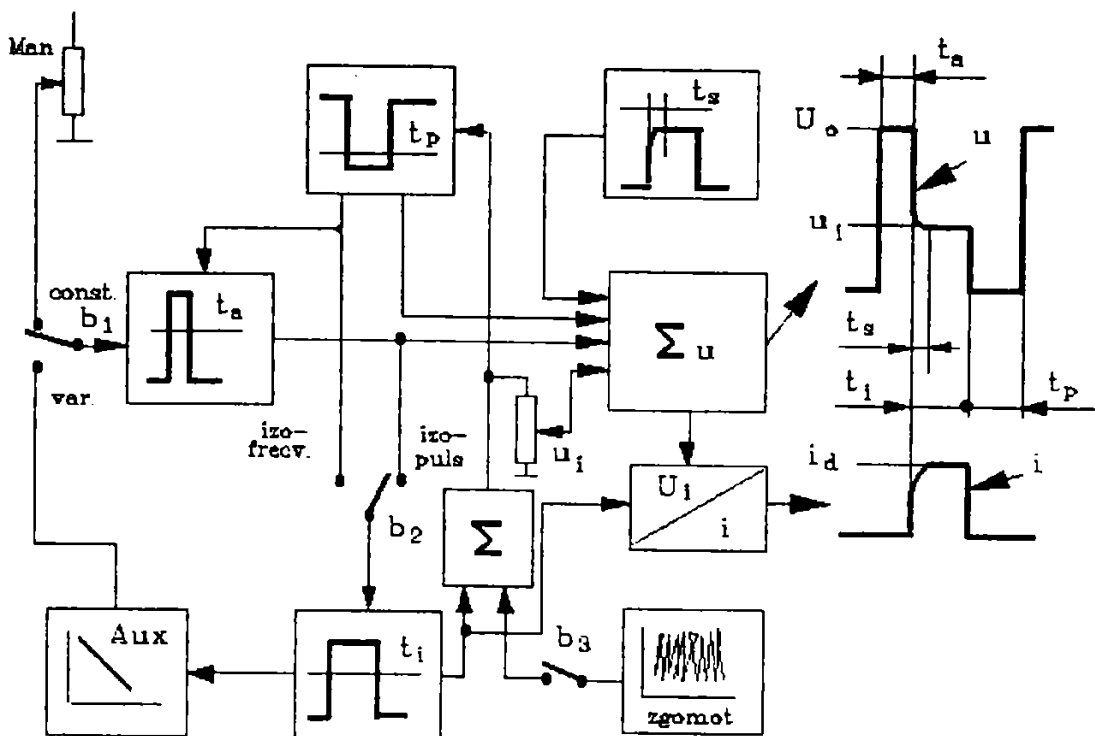


Fig. 2.3.8. Schema bloc a simulatorului de impulsuri EDM.

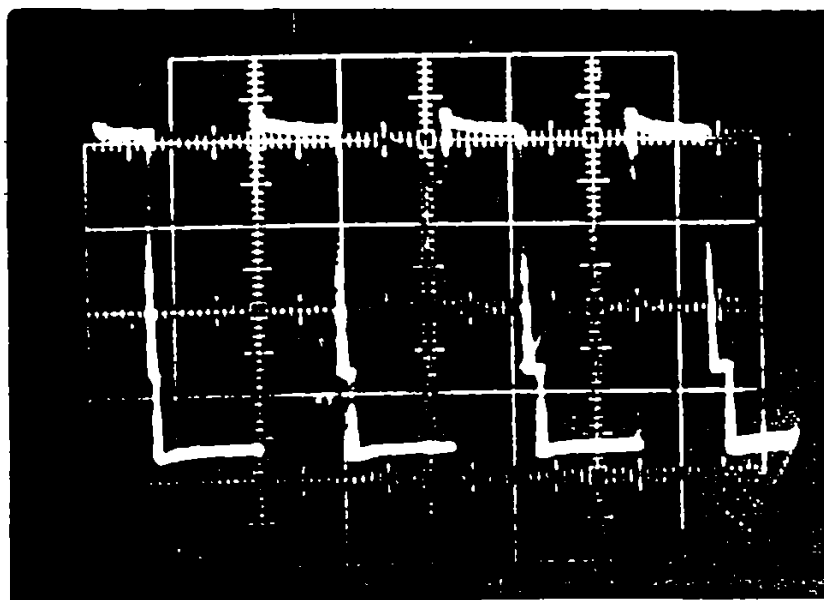
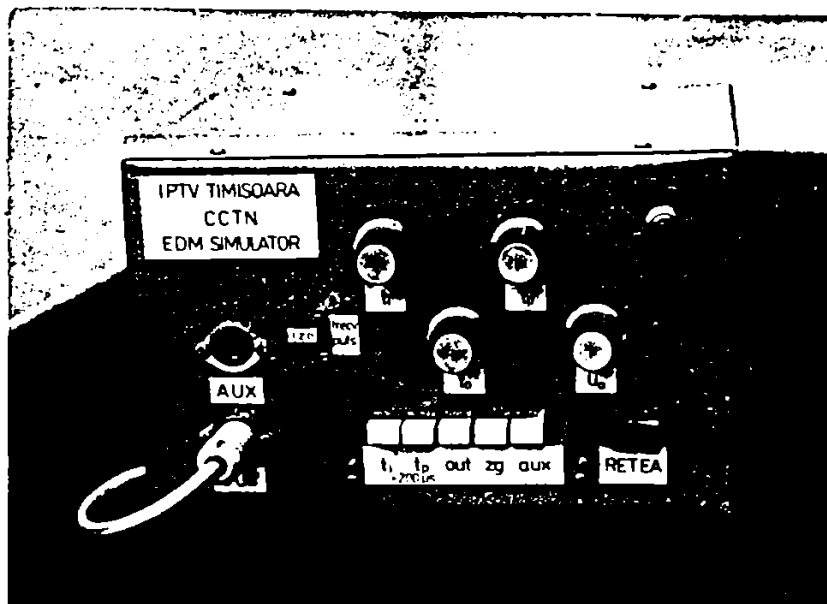


Fig.2.3.9.Simulatorul de impulsuri EDM; a. – vedere; b. – diagrama de impulsuri.

2.3.3.3. Prelucrarea informatiei la nivelul trenului de impulsuri.

Informatiile primare continute in semnalele logice x_0 , x_n , x_f , x_{sc} caracterizeaza impulsurile individuale, dezvoltate in interstitiu intr-o succesiune pseudoaleatoare. Implicatiile tehnologice ale acestor impulsuri se fac simtite la nivelul grupului (trenului) de impulsuri, care actioneaza cumulat pe o anumita durata de timp. In acest sens, semnalele logice pot fi interpretate in doua moduri:

- i. – fiecarui semnal ii corespunde un impuls din categoria discriminata. La nivelul trenului de impulsuri, se masoara frecventa, respectiv se contorizeaza numarul impulsurilor din fiecare tip;
- ii. – fiecare semnal caracterizeaza impulsul discriminat prin durata sa.

Rezultatul discriminarii impulsurilor generate in regim izopuls poate fi urmarit in fig.2.3.7.

Este evident faptul ca numarul sau frecventa semnalelor logice nu ofera in toate situatiile informatii corecte asupra caracteristicilor globale ale trenului de impulsuri. Astfel, in regim izofrecventa, impulsurile de lucru cu frecventa f_n dezvolta energii diferite, functie de durata impulsului de curent iar in regim izopuls nu se poate vorbi de frecventele impulsurilor in gol. In consecinta, incarcarea energetica a interstitiului nu este definita univoc prin frecventele impulsurilor de diferite tipuri ci prin duratele cumulate ale acestora.

Uzual, calitatea procesului electroeroziv este definita prin coeficientii de eficienta a prelucrarii [63,120,154], definiti sub mai multe variante (tab.2.1.2):

$$\varphi_1 = \frac{t_i}{t_u} = \frac{\text{durata descarcarii}}{\text{durata impulsului de tensiune}} \quad (2.3.1)$$

$$\varphi_2 = \frac{\sum \varphi_1}{n_i} = \frac{\text{suma duratelor relative de descarcare}}{\text{numarul total de impulsuri}} \quad (2.3.2)$$

$$\varphi_3 = \frac{\sum t_i}{\sum t_u} = \frac{\text{durata totala de descarcare}}{\text{durata totala a impulsurilor de tensiune}} \quad (2.3.3)$$

$$\varphi_4 = \frac{f_n}{f_i} = \frac{\text{frecventa impulsurilor normale}}{\text{frecventa impulsurilor}} \quad (2.3.4)$$

$$\varphi_5 = \frac{n_n}{n_i} = \frac{\text{numarul impulsurilor normale}}{\text{numarul total al impulsurilor}} \quad (2.3.5)$$

Coeficientii de eficienta a prelucrării trebuie sa indeplineasca urmatoarele conditii:

- sa fie intr-o corelatie buna cu caracteristicile tehnologice urmarite ale prelucrării;
- sa prezinte o variatie extremala in raport cu parametrii ON –LINE si sa fie cat mai putin dependenti de valorile parametrilor OFF-LINE ai regimului de prelucrare;
- sa fie reproductibili;
- sa fie usor de determinat.

Aceste conditii sunt indeplinite de coeficientul de eficienta a prelucrării definit prin durata relativa a descarcarilor normale, definit prin raportul dintre duratele cumulate ale descarcarilor normale $\sum t_n$ si timpul total de masurare, t :

$$\tau_n = \frac{\sum t_n}{t} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.3.6)$$

Analog, se definesc duratele relative de mers in gol τ_0 si in regim anormal τ_{an} :

$$\tau_0 = \frac{\sum t_0}{t} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.3.7)$$

$$\tau_{an} = \frac{\sum t_{an}}{t} \cdot 100 \quad [\%] \quad (2.3.8)$$

Observatie: Pentru limitarea numarului canalelor purtatoare de informatii, ale discriminatorului de impulsuri duratele, respectiv frecventele corespunzatoare impulsurilor fictive si ale celor in scurtcircuit au fost cumulate si definite apartinand impulsurilor anormale:

$$t_{an} = t_f + t_{sc} \quad f_{an} = f_f + f_{sc} \quad (2.3.9)$$

Concluzie:

Utilizarea unui discriminator de impulsuri constituie o conditie esentiala pentru analiza in timp real a procesului electroeroziv, prin intermediul parametrilor de stare ON-LINE – coeficientii de eficienta a prelucrării.

2.4. Analiza ON-LINE a procesului de prelucrare prin eroziune electrica.

Cercetarile orientate spre caracterizarea ON-LINE a procesului electroeroziv au ca finalitate stabilirea corelatiilor existente intre caracteristicile tehnologice (parametrii OFF-LINE) si parametrii de stare (ON-LINE) concretizati prin coeficientii de eficienta a prelucrarii, definiti anterior. Pentru atingerea acestui scop, s-a proiectat,realizat si testat in mai multe variante un echipament specializat pentru determinarea coeficientilor de eficienta, a carui structura, la nivel de schema bloc este prezentata in fig.2.4.1.

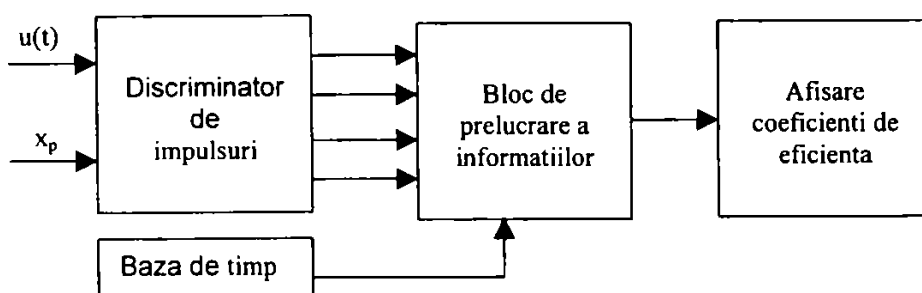


Fig.2.4.1. Schema bloc a echipamentului de masurare a coeficientului de eficienta a prelucrarii.

Cu exceptia discriminatorului de impulsuri, realizat dupa schema din figura 2.3.6, prelucrarea informatiei si afisarea rezultatelor masuratorilor au fost implementate in doua moduri : analogic si digital.

2.4.1. Implementarea analogica.

Exprimarea coeficientilor de eficienta sub forma duratelor relative ale impulsurilor de diverse tipuri - τ_0 , τ_n , τ_{an} , se preteaza la o implementare analogica facila, cu utilizarea unor aparate de masura indicatoare analogice.

O prima varianta a acestei implementari [136], prezentata in fig.2.4.2 consta in masurarea, cu aparate magnetoelectrice indicatoare a valorilor medii ale semnalelor x_0 , x_n , x_{an} – calibrate in prealabil in amplitudine.

A doua varianta, mai complexa [141], care a fost utilizata si pentru comanda extremala a avansului (Cap.3) este prezentata in fig. 2.4.3, in care: GU – generator de curent constant; G1, G2, G3 – comutatoare analogice (porti de transmisie CMOS); AO – aplicator operational cu impedanta mare de intrare; C1, C2 – condensatori de memorare a tensiunii.

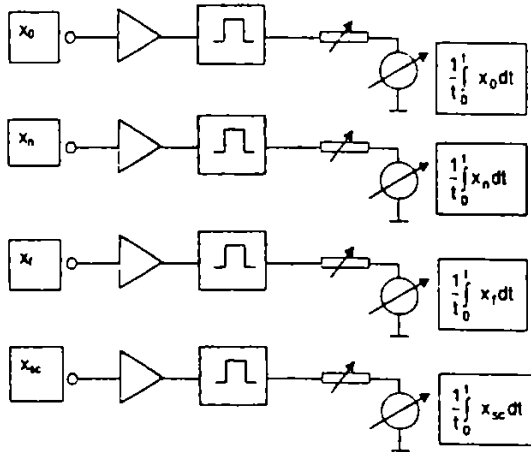
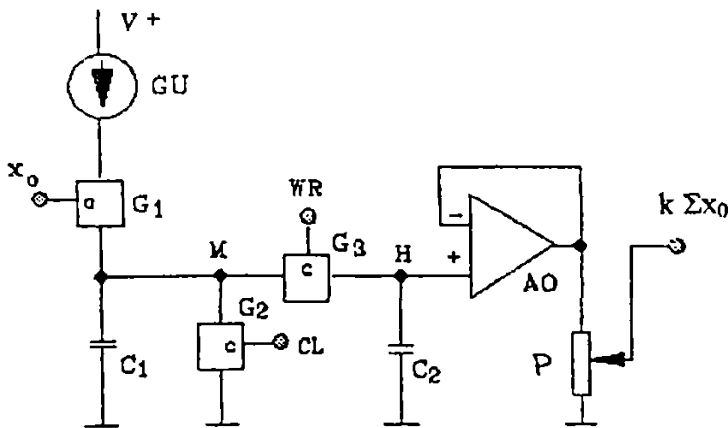
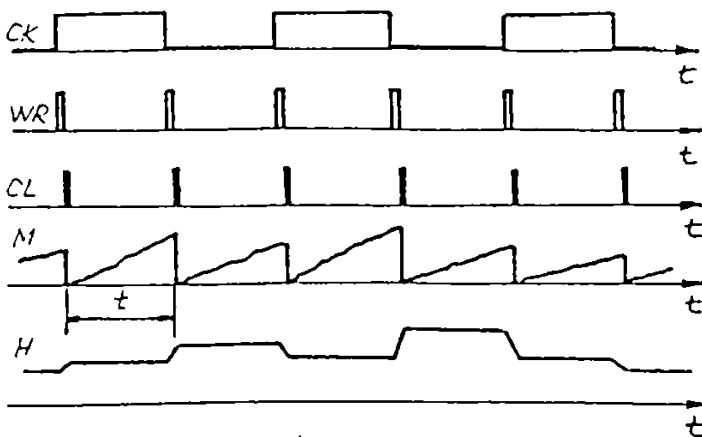


Fig.2.4.2. Masurarea directa a duratelor relative ale impulsurilor.

Duratele relative τ_0 , τ_L , τ_{an} se obtin prin incarcarea condensatorului C1 cu un curent constant, pe fiecare durata t_0 , t_n , t_{an} , insumate pe durata de masurare t .



a.



b.

Fig. 2.4.3. Schema de masurare a coeficientului de eficienta:
a - celula de memorie analogica; b - diagrama de functionare.

Diagramele semnalelor in diferite puncte ale schemei sunt prezentate in fig.2.4.3. b, in care se identifica:

- CK (clock) – semnalul unei baze de timp externe, cu perioada reglabila ($T = 2 \dots 0.2 \text{ s}$);
- WR (write) – semnal pentru comanda incarcarii condensatorului C2 de la condensatorul C1;
- CL (clear) – semnal pentru descarcarea condensatorului C1.

In punctul M tensiunea creste in trepte, corespunzator fiecarei durate a impulsului discriminat iar in punctul H este prezenta tensiunea memorata dupa fiecare semnal WR. Amplificatorul AO realizeaza separarea si adaptarea de impedanta cu sarcina. reprezentat de potentiometrul P la cursorul caruia se poate conecta un aparat de masura analogic.

Calibrarea indicatiilor aparatelor de masura se face aplicand la intrarea discriminatorului un tren de impulsuri -de la simulatorul de impulsuri- cu caracteristici prestabilite. Cu potentiometrul P se prescrie indicatia aparatului de masura astfel incat aceasta sa reprezinte, la o anumita scara, marimea masurata.

2.4.2. Implementarea digitala.

Prima varianta de implementare digitala [140] (fig.2.4.4) ofera posibilitatea masurarii frecventelor sau numarului de impulsuri de diferite tipuri pe durata determinata. Optional, prin comutarea cheii b in pozitia II si utilizarea unei baze de timp externe (CLOCK) se pot masura duratele relative $\tau_0, \tau_n, \tau_{an}$ functie de timpul de masurare prestabilit.

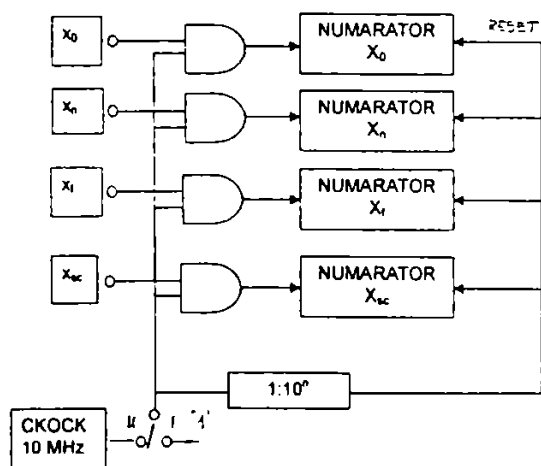


Fig.2.4.4.Implementarea digitală a masurării coeficientului de eficiență

A doua varianta de implementare, care utilizeaza un sistem de calcul [76] construit in jurul unui microcalculator TIM-S (cu μP Z80) este prezentata in fig. 2.4.5 si cuprinde:

- analizorul de semnal (discriminatorul de impulsuri);
- interfata de cuplare a analizorului cu calculatorul;
- microcalculatorul TIM-S care genereaza comenzile necesare functionarii corecte a analizorului si a interfetei si care, dupa prelucrarea informatiilor pe care le primeste afiseaza pe ecran informatiile privind duratele de prelucrare normala, de mers in gol, in regimuri fictive si de scurtcircuit precum si numarul total de impulsuri intr-un interval de timp stabilit de operator.

Schema de cuplare a analizorului de semnal la calculator este prezentata in fig.2.4.6 si contine urmatoarele blocuri:

- amplificator magistrala de date, realizat cu circuite 8216 destinat amplificarii bidirectionale a semnalelor de pe magistrala de date;
- amplificator magistrala de adrese, realizat cu circuitul 8212 si care asigura amplificarea semnalelor pe liniile A_0 , A_1 , A_2 , A_3 , A_7 si IORQ;
- registrele tampon pe 16 biti care memoreaza informatia initiala din numaratoare, pe durata prelucrarii noilor informatii de catre calculator;
- blocul de generare a comenzilor, a carui schema este prezentata in fig.2.4.7 si care indeplineste urmatoarele functii:
- comanda corespunzatoare a circuitelor amplificatoare ale magistralei de date;
- comanda transferului datelor din numaratoare in registrele tampon;
- transferul succesiv al continutului registrelor tampon pe magistrala de date;
- initializarea circuitelor numaratorului.

Functionarea schemei din fig.2.4.6 decurge in felul urmator:

- prin blocul de generare a comenzilor se comanda trecerea din numaratoare in registrele tampon si se anuleaza semnalul VAL;
- se decupleaza registrele de numaratoare si se initiaza continutul numaratoarelor;
- se genereaza semnalul VAL care valideaza functionarea analizorului;
- se conecteaza pe rand cele cinci registre tampon la magistrala de date, calculatorul memorand adresele acestora;
- pe durata prelucrarii si afisarii informatiei, semnalul VAL ramane activ;
- se reia functionarea prin anulatea semnalului VAL si transferul informatiei din numaratoare in registrele tampon.

Blocul de generare a comenzilor primeste la intrare semnalele A_0 , A_1 , A_2 , A_3 , A_7 si IORQ si genereaza la iesire semnalele:

- P_0, P_1, \dots, P_8 utilizate pentru conectarea succesiva a registrelor tampon la magistrala de date;

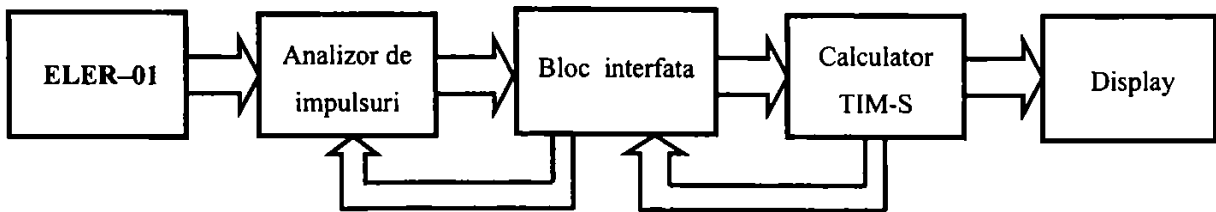


Fig.2.4.5. Structura sistemului de calcul pentru masurarea eficientei procesului de prelucrare.

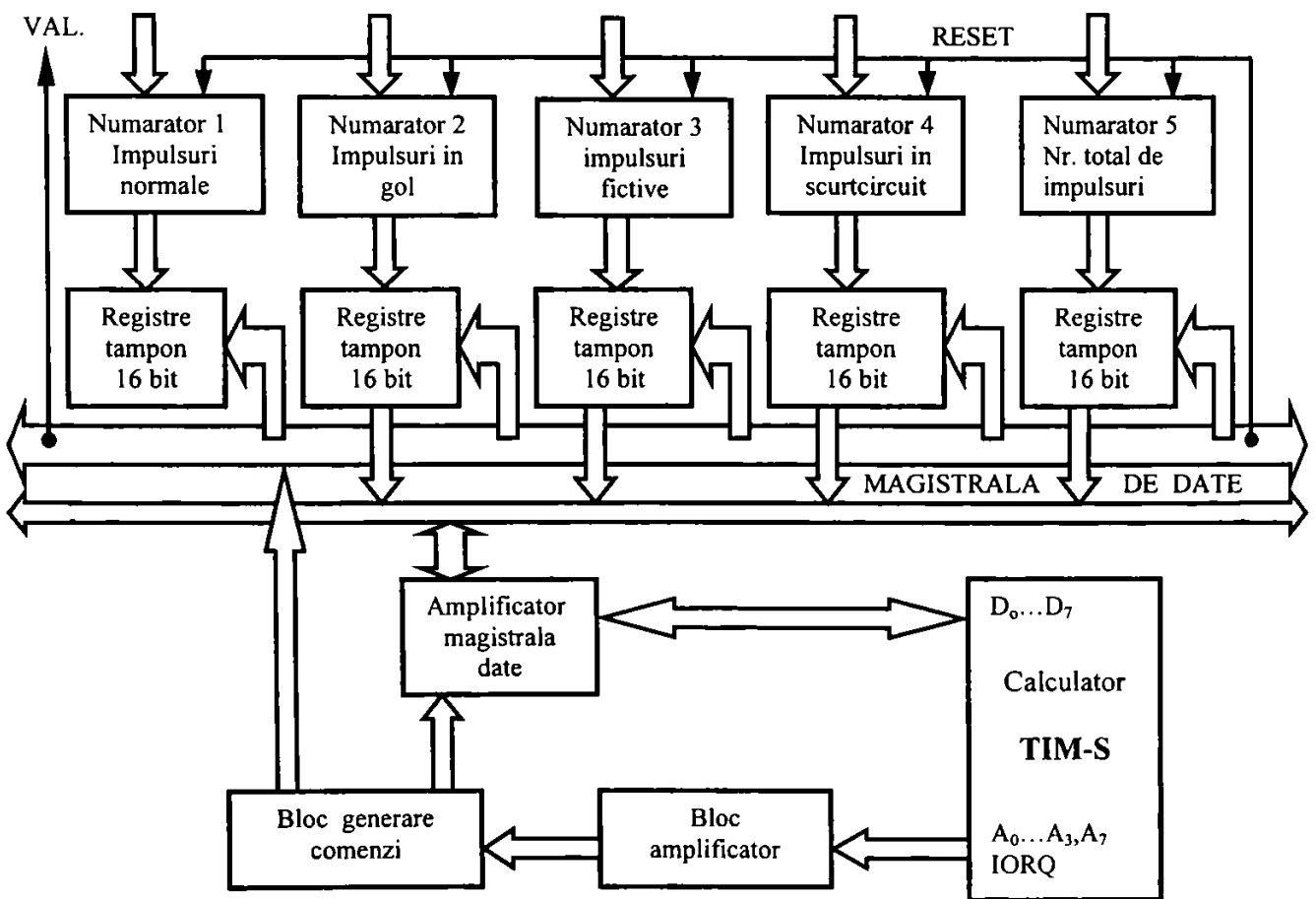


Fig. 2.4.6. Schema de cuplare la calculator a analizorului de impulsuri.

- P_9 utilizat pentru comanda transferului informatiilor continute in circuitele numaratoare in registrele tampon;
- P_{10} utilizat pentru anularea continutului numaratoarelor;
- P_{12} care genereaza printr-un bistabil semnalul VAL;

- P₁₁ care anuleaza semnalul VAL pe durata transferului informatiei din numaratoare in registrele tampon.

Programarea sistemului este prezentata in schema logica din fig.2.4.8.

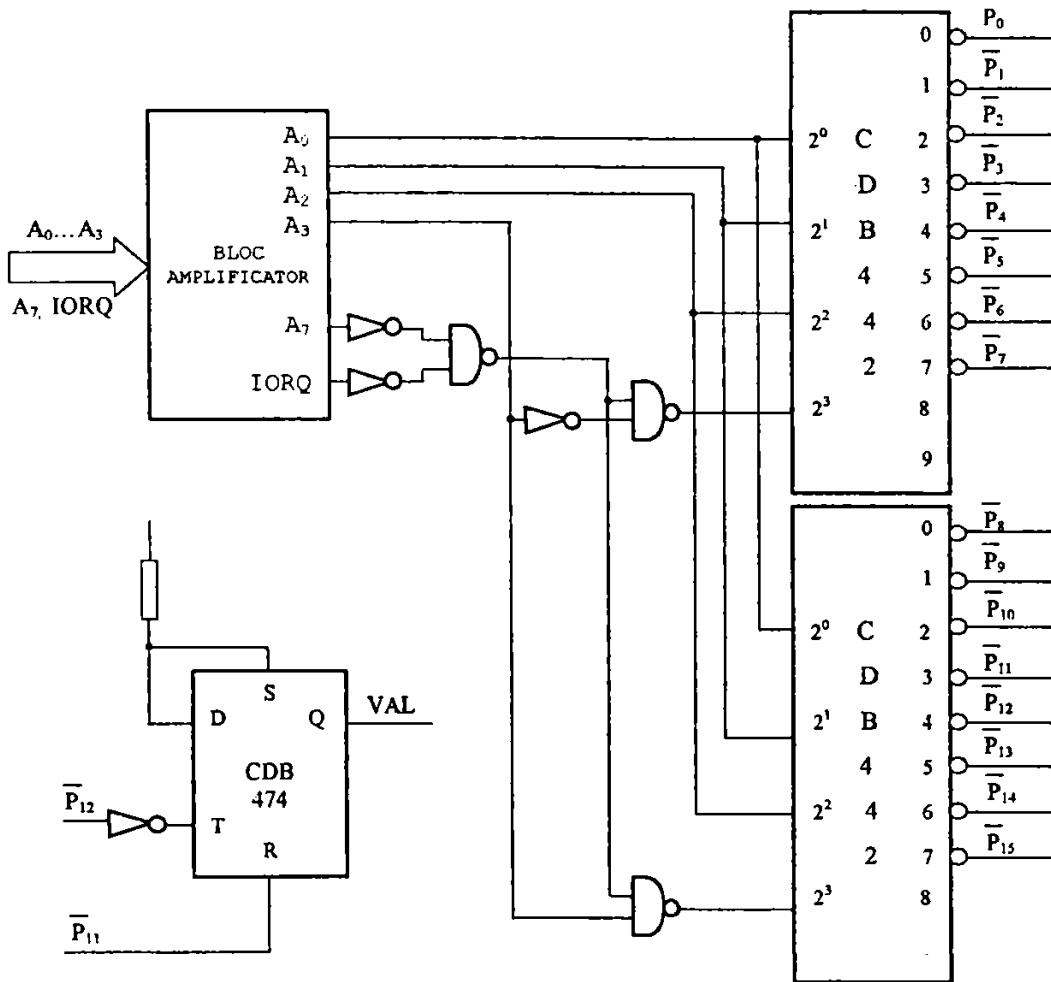


Fig.2.4.7. Schema blocului de generare a comenzilor.

Prima parte a programului , scris in limbaj de asamblare asigura generarea semnalelor P₀ ... P₁₂ necesare bunei desfasurari a procesului de analiza. A doua parte, scris in limbaj BASIC, asigura dialogul cu monitorul si afisarea rezultatelor.

2.4.3. Cercetari experimentale.

2.4.3.1. Stabilirea parametrilor de intrare si iesire.

Investigarea procesului de prelucrare prin eroziune in timp real impune luarea in considerare a parametrilor de intrare si iesire de tip ON-LINE prezentati in tabelele 2.1.1 si 2.1.2. Totodata, data fiind finalitate tehnologica urmarita –extre-

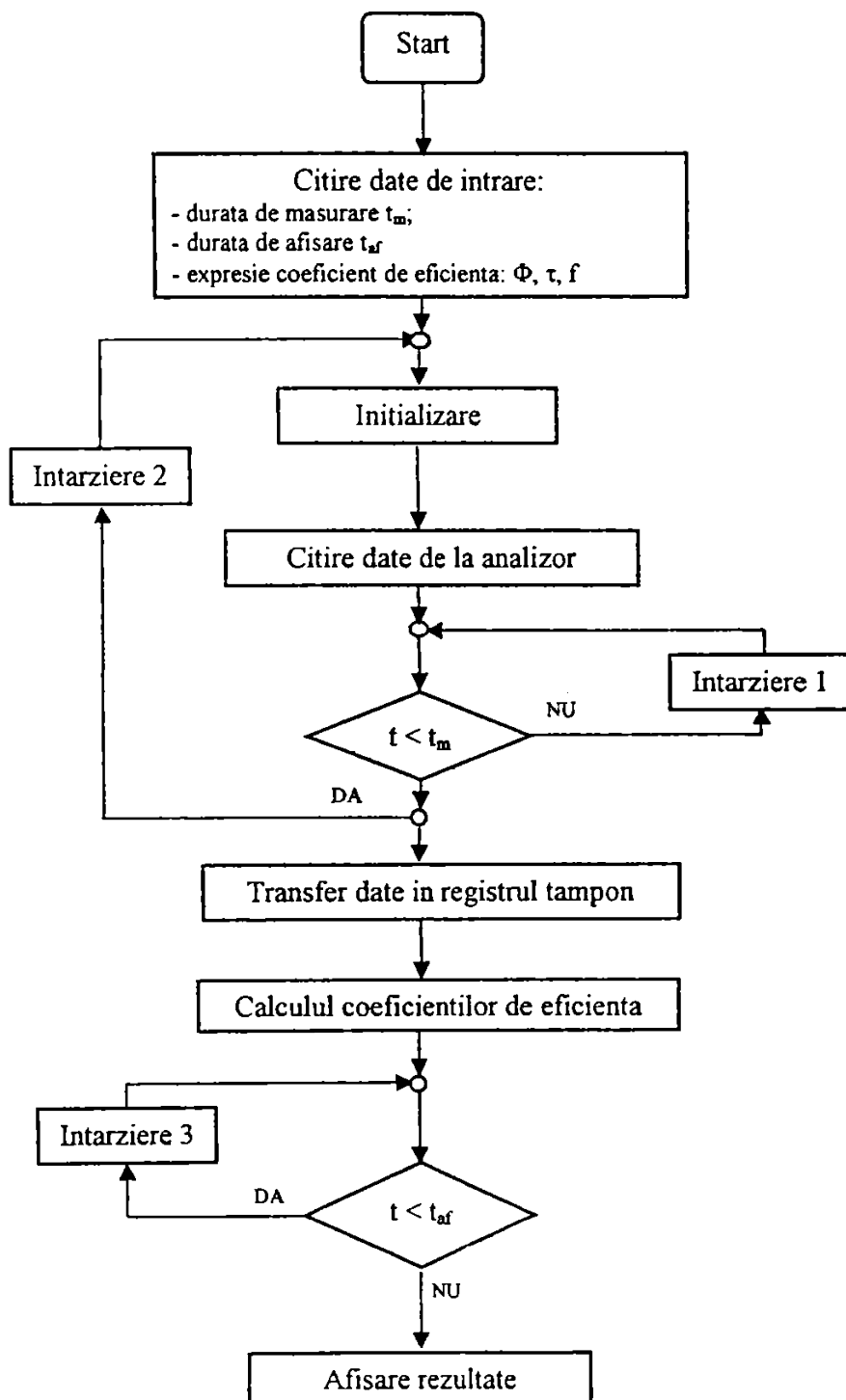


Fig.2.4.8. Schema logica a programului.

mizarea caracteristicilor tehnologice , este necesara stabilirea corelatiilor dintre acestea si parametrii de stare a procesului.

Pe de alta parte, utilizarea analizorului de impulsuri pentru analiza procesului in timp real a impus efectuarea unor cercetari pentru stabilirea corelatiilor intre marimile de reglare si semnalele de iesire.

2.4.3.2. Reglarea discriminatorului de impulsuri.

Discriminarea tipurilor de impulsuri se face pe baza compararii valorilor momentane ale tensiunii cu doua nivele de referinta, U_H si U_L , conform celor prezentate in tabelul 2.3.1 si fig. 2.3.9. Valorile acestor nivele de referinta determina in mod direct rezultatele discriminarii. Un anume impuls poate fi caracterizat ca fiind in gol, normal, fictiv sau in scurtcircuit, influentele nivelelor U_H si U_L asupra discriminarii impulsurilor fiind diferite , si anume:

- Tensiunea U_H asigura discriminarea impulsurilor (duratelor) in gol, ale celor normale si ale celor fictive de tip 1 (tab.2.3.1). Acest nivel trebuie stabilit intr-un domeniu de tensiuni care sa fie peste tensiunea maxima pe descarcare si sub tensiunea de mers in gol.

- Tensiunea U_L asigura evidentierea duratei de descarcare (ardere), caracterizata prin tensiunea u_d , care prezinta doua tipuri de variatii (fig.2.3.3):

1. - variatii ale valorii medii, dependente de conditiile concrete in care evolueaza descarcarea (cuplul de materiale OT - OP, caracteristicile locale ale dielectricului, energia descarcarii, marimea interstitiului) si care permit discriminarea descarcarii normale de cele fictive tip 3, respectiv de descarcarii in scurtcircuit;

2. – variatii aleatoare, suprapuse valorii medii, datorate caracterului statistic al circulatiei sarcinilor electrice prin canalul descarcarii (zgomot de RF).

Pe baza acestor considerente s-a adoptat o strategie de experimentare orientata spre stabilirea interdependentelor dintre parametrii de stare a procesului si nivelele de reglare U_H si U_L ale discriminatorului. Adicional s-au urmarit si valorile caracteristicilor tehnologice obtinute in urma prelucrarii intr-un regim prestabilit.

2.4.3.3. Influenta parametrilor OFF-LINE.

Programul experimental s-a desfasurat dupa schema prezentata in fig.2.4.9, materializata prin echiparea unei masini de prelucrare prin electroeroziune tip ELER 01 cu analizorul de impulsuri cuplat la un sistem de calcul (prezentat la punctul 2.4.2).

Parametrii de intrare si iesire luati in considerare sunt prezentati sintetic in tabelul 2.4.1.

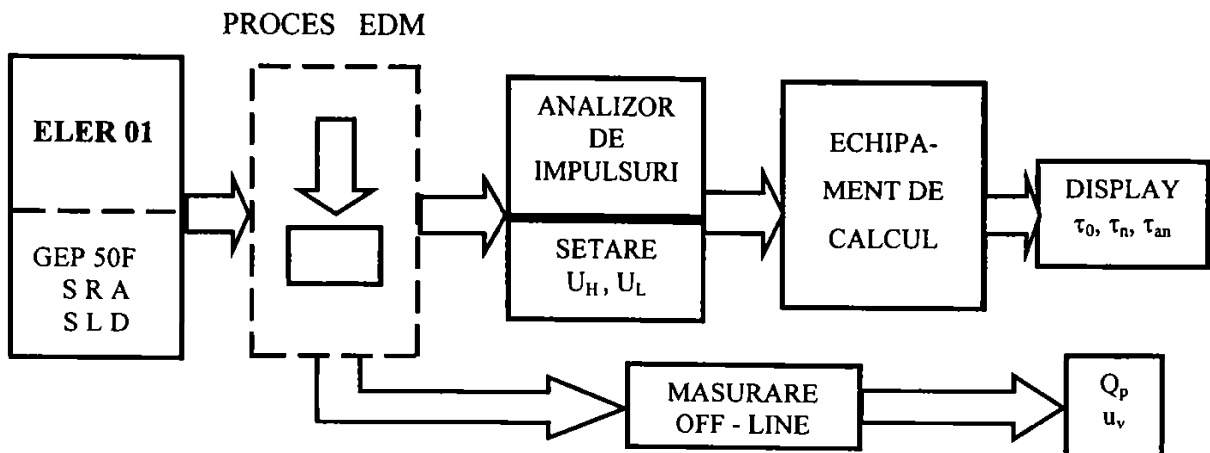


Fig.2.4.9. Schema bloc a standului experimental.

Cercetarile s-au desfasurat in doua etape:

1. In prima etapa s-a urmarit determinarea influentelor individuale ale tensiunilor de referinta U_H si U_L asupra duratelor relative inregistrate ale impulsurilor; rezultatele experimentale sunt prezentate in fig.2.4.10 si 2.4.11. Din examinarea acestora s-au identificat domeniile de prescriere a tensiunilor de referinta, corespunzator variatiilor pantelor caracteristicilor $\tau_i(U_j)$:

$$\left| \frac{d^2 \tau_i}{dU_j^2} \right| = \max. \quad (i = 0, f_1, n, f_3; j = H, L) \quad (2.4.1)$$

Se considera: $U_H = 48...62$ (V) si $U_L = 18...24$ (V)

2. In a doua etapa a cercetarilor s-a urmarit identificarea efectelor cumulate ale referintelor U_H si U_L asupra acelasii parametri de iesire: $\tau_0, \tau_n, \tau_{an} = \tau_{f1} + \tau_{f3} + \tau_{sc}$ si Q_p , prin stabilirea unor modele matematice de forma:

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2 \quad (2.4.2)$$

Nivelele factorilor U_H si U_L - extinse fata de domeniile stabilite anterior sunt prezentate in tab. 2.4.2.

In tabelul 2.4.3. se prezinta matricea de programare si valorile functiilor de raspuns ale experimentului bifactorial, pentru doua regimuri de prelucrare:

1. $I = 25$ A, $t_i = 95 \mu s$; $t_p = 24 \mu s$; (experientele 1...4);
2. $I = 50$ A, $t_i = 190 \mu s$; $t_p = 48 \mu s$; (experientele 5...8);

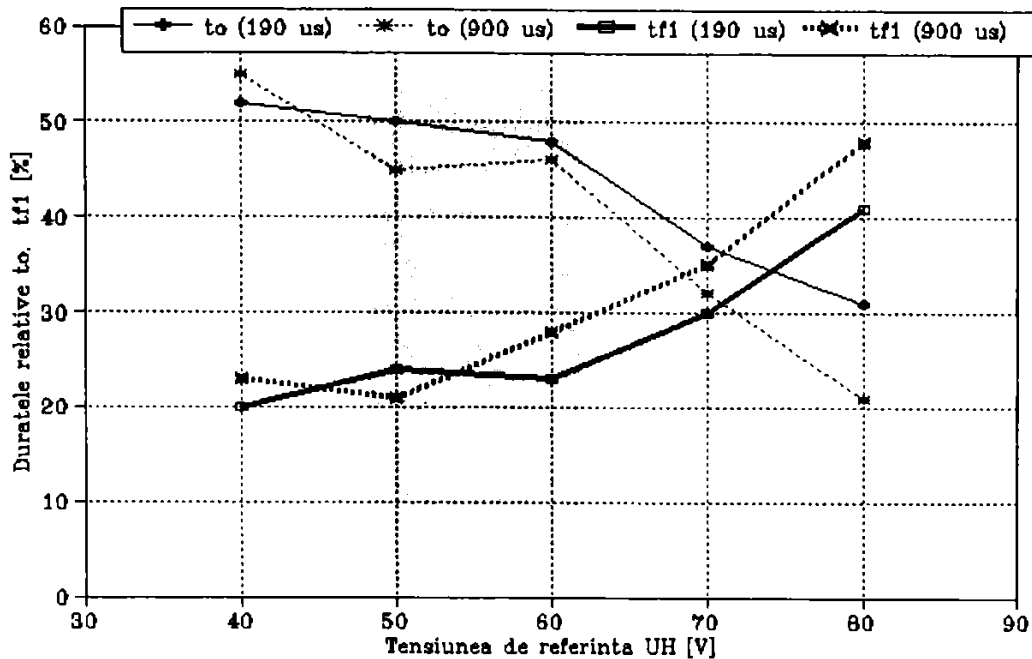


Fig. 2.4.10. Influenta tensiunii de referinta U_H asupra duratelor relative τ_0 si τ_{f1} .

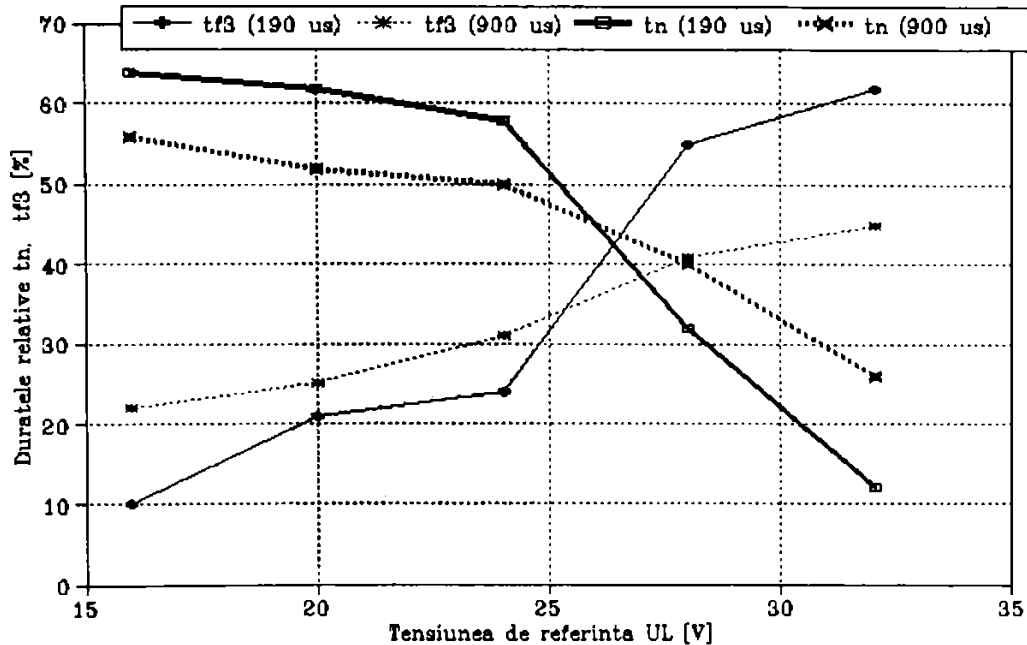


Fig. 2.4.11. Influenta tensiunii de referinta U_L asupra duratelor relative τ_n si τ_{f3} .

Tabelul 2.4.1 Parametrii procesului de prelucrare.

PARAMETRII			
De intrare OFF-LINE		De iesire	
Constanti	Variabili	OFF-LINE	ON-LINE
Materiale OT,OP Polaritatea OT Curentul: i_d Durata impuls: t_d Presiune dielectric: p	Tensiuni de referinta: U_H, U_L	Productivitatea: Q_p [mm ³ /min] Uzura relativa: u_v [%]	Coefficienti de eficienta: $\tau_0, \tau_n, \tau_{an}$ [%]

Tabelul 2.4.2. Factorii procesului

Factori variabili			
Cod	Specificare	Nivele	
		Cod	Marime
x_1	U_H	+1	70 V
		-1	45 V
x_2	U_L	+1	30 V
		-1	18 V

Tabelul 2.4.3. Matricea experimentului

Nr. exp.	x_0	Factori		Functii de raspuns										
		x_1	x_2	$y_1 (\tau_0)$			$y_2 (\tau_n)$			$y_3 (\tau_{an})$			OFF-line	
				y_{11}	y_{12}	y_{13}	y_{21}	y_{22}	y_{23}	y_{31}	y_{32}	y_{33}	Q_p	u_v
1	+1	-1	-1	15.1	13.5	11.2	58	62	64	5.9	7.3	7.7	145	11
2	+1	+1	-1	8.8	9.6	9.2	53	58	62	9.5	10.1	11.2		
3	+1	-1	+1	10.8	11.2	12.1	49	45	47	17	13	15		
4	+1	+1	+1	5.3	6.8	6.2	44	38	43	18	19	18		
5	+1	-1	-1	10.2	9.1	11.8	62	51	59	9.5	8.7	10.1	330	10
6	+1	+1	-1	13.4	9.5	11.7	38	35	37	19	14	16		
7	+1	-1	+1	7.5	8.2	9.7	51	46	55	10.7	13.5	12.2		
8	+1	+1	+1	4.6	4.5	6.3	27	32	24	24.2	21.7	18.8		

Modelele matematice ale duratelor relative ale impulsurilor in gol, normal si anormal, ale caror adecvante a fost confirmate prin testul Fischer, sunt:

$$\tau_{0\ 25} = 24.5 - 0.265 U_H + 1.2 \cdot 10^{-2} U_L \quad (2.4.3)$$

$$\tau_{n\ 25} = 102.51 - 0.167 U_H - 2.25 U_L \quad (2.4.4)$$

$$\tau_{an\ 25} = -8.53 + 2.8310^{-2} U_H + 0.817 U_L \quad (2.4.5)$$

$$\tau_{0\ 50} = 18.12 - 0.189 U_H + 1.93 \cdot 10^{-2} U_L \quad (2.4.6)$$

$$\tau_{n\ 50} = 102.18 - 4.82 \cdot 10^{-2} U_H - 2.51 U_L \quad (2.4.7)$$

$$\tau_{an\ 50} = -3.68 + 0.21 U_H + 0.548 U_L \quad (2.4.8)$$

Curbele $i_{zo}-\tau$ corespunzatoare modelelor matematice de mai sus (fig. 2.4.12 a,b) indica drept compromis acceptabil ($\tau_0, \tau_n, \tau_{an}$ cu valori apropiate de maxim valorile de tensiuni: $U_H = 48\ V$ si $U_L = 17\ V$).

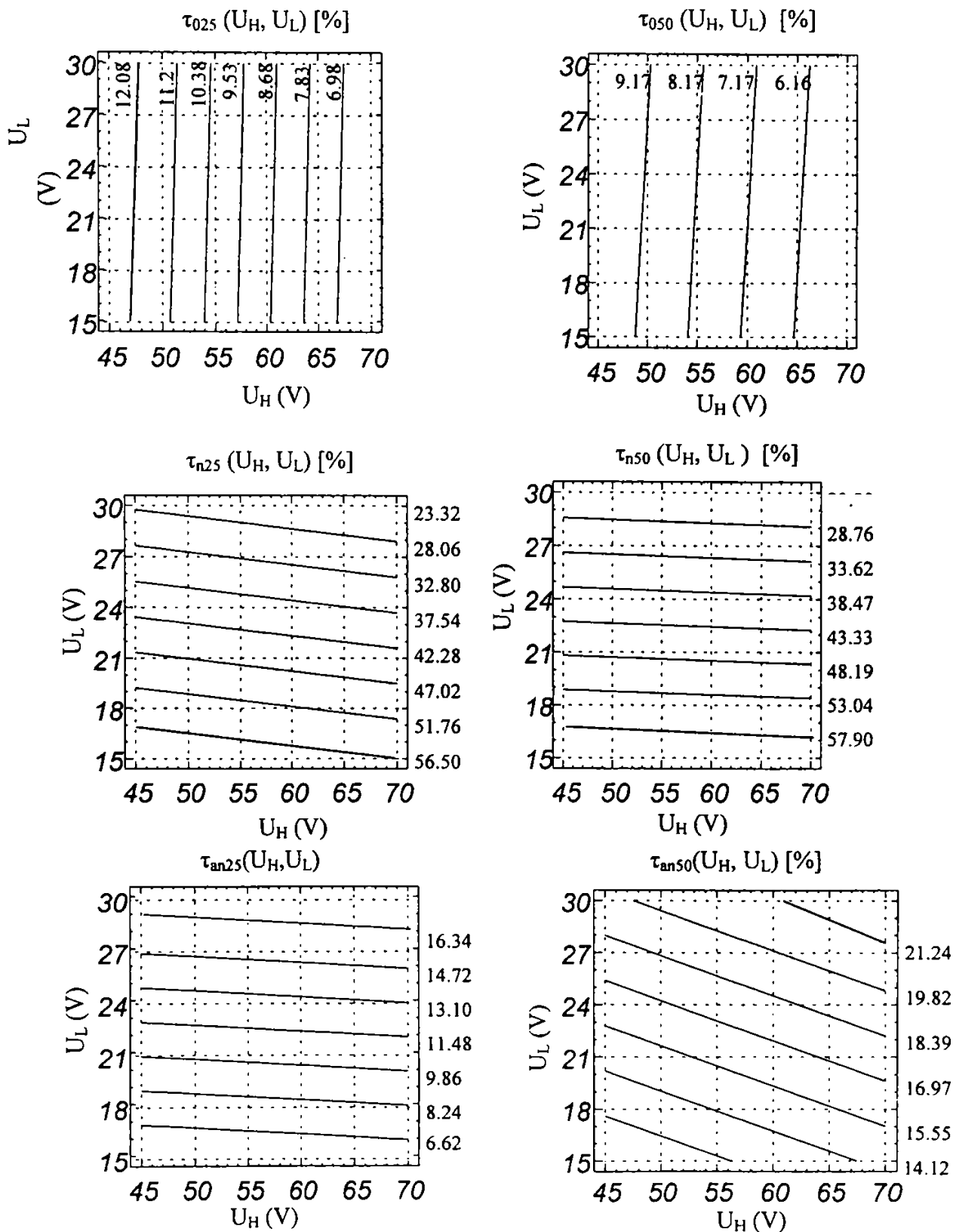


Fig.2.4.12. Curbele de durata relativa constanta a impulsurilor pentru regimurile:
a: $I = 25$ A; b: $I = 50$ A.

2.4.3.4. Influenta parametrilor ON-LINE.

Parametrii de regim ON-LINE care au fost luati in considerare pentru a fi prescrisi pe masina ELER 01 sunt:

- durata pauzei dintre impulsuri: t_p sau coeficientul de umplere k_i ;
- presiunea dielectricului in interstitiu: p
- tensiunea de referinta servo: u_r .

In cadrul programului experimental proiectat si realizat s-au luat in considerare primii doi parametri (t_p si p); influenta tensiunii de referinta se prezinta la cap.3, in legatura cu reglarea interstitiului. Programul experimental a fost realizat in doua etape:

1. - prin experiment clasic, urmarind dependente de tipul:

$$\begin{bmatrix} Q_p \\ \tau_0 \\ \tau_n \\ \tau_{an} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k_i \\ p \end{bmatrix} \quad (2.4.9)$$

pentru ceilalti parametri de regim constanti.

2. - prin experiment activ , urmarind obtinerea unor modele matematice de tipul celui prezentat in relatia (2.4.2).

Valorile parametrilor prescrisi pentru experimentul clasic sunt prezentate in tabelul 2.4.4.

Tabelul 2.4.4. Parametrii de regim pentru experimentul clasic

Nr. crt.	Parametrii de intrare			
	Variabili		Constanti	
	k_i [-]	p [bar]	1.	2.
1	0.5	-0.4	$t_i = 190 \mu s$	$t_i = 900 \mu s$
2	0.68	-0.2	Generator GEP 50F Electrod: CuE + Piesa: otel C120 Treapta curent: 25 A	
3	0.82	0		
4	0.9	0.2		
5	0.95	0.4		

Dependentele (2.4.9) sunt prezentate in fig. 2.4.13 si 2.4.14. Ecuatiile de regresie aferente sunt prezentate in tabelul 2.4.5, in care se remarca corelatia stransa intre productivitatea prelucrarii Q_p si durata relativa a impulsurilor normale τ_n . (relatiile 13...16)

Prin experiment activ s-au determinat modelele matematice pentru productivitate si coeficientul de eficienta a prelucrarii (ecuatiile 2.4.9...2.4.12),

Tabelul 2.4.5. Ecuatiile de regresie pentru reprezentarile din fig. 2.4.13. si 2.4.14.

Nr. crt.	Ecuatia de regresie	Coefficient de corelatie	Obs.
1	$\tau_{01} = 43.81 - 0.889 k_i - 32.84 k_i^2$	0.893	$t_i = 190 \mu s$
2	$\tau_{n1} = -225.89 + 793.50 k_i - 576.50 k_i^2$	0.902	
3	$\tau_{an1} = 72.18 - 212.37 k_i + 197.828 k_i^2$	0.933	
4	$Q_{P1} = -356.5 + 1126.22 k_i - 753.70 k_i^2$	0.917	
5	$\tau_{02} = 12.73 + 86.56 k_i - 99.74 k_i^2$	0.911	$t_i = 900 \mu s$
6	$\tau_{n2} = -210.96 + 767.44 k_i - 560.434 k_i^2$	0.943	
7	$\tau_{an2} = 166.5 - 551.81 k_i + 475.88 k_i^2$	0.965	
8	$Q_{P2} = -458.07 + 1702.4 k_i - 1265.23 k_i^2$	0.922	
9	$\tau_{n3} = 49 - 16 p + 50 p^2$	0.928	$t_i = 190 \mu s$
10	$Q_{P3} = 36.34 - 14.5 p + 73.21 p^2$	0.947	
11	$\tau_{n4} = 52.85 - 15.49 p + 76.78 p^2$	0.940	$t_i = 900 \mu s$
12	$Q_{P4} = 79.54 - 9.99 p + 60.71 p^2$	0.860	
13	$Q_{P1(m)} = 8.74 + 1.04 \tau_{n1}$	0.857	$t_i = 190 \mu s$
14	$Q_{P2(m)} = -5.3 + 2.265 \tau_{n2}$	0.963	$t_i = 900 \mu s$
15	$Q_{P3(m)} = -12.4 + 1.036 \tau_{n3}$	0.931	$t_i = 190 \mu s$
16	$Q_{P4(m)} = 38.89 + 0.77 \tau_{n4}$	0.966	$t_i = 900 \mu s$

Tabelul 2.4.6. Factorii variabili pentru experimentul activ 2²

Cod	Specificare	Nivele variabile	
		Cod	Marime
x ₁	k _i	+1	0.9
		-1	0.5
x ₂	p	+1	0.2
		-1	-0.2

functie de parametrii variabili din tabelul 2.4.4, care au fost prescrisi la nivelele prezentate in tabelul 2.4.6.

$$\tau_{n190} = 50.375 + 12.375 k_i - 3.375 p \quad (2.4.10)$$

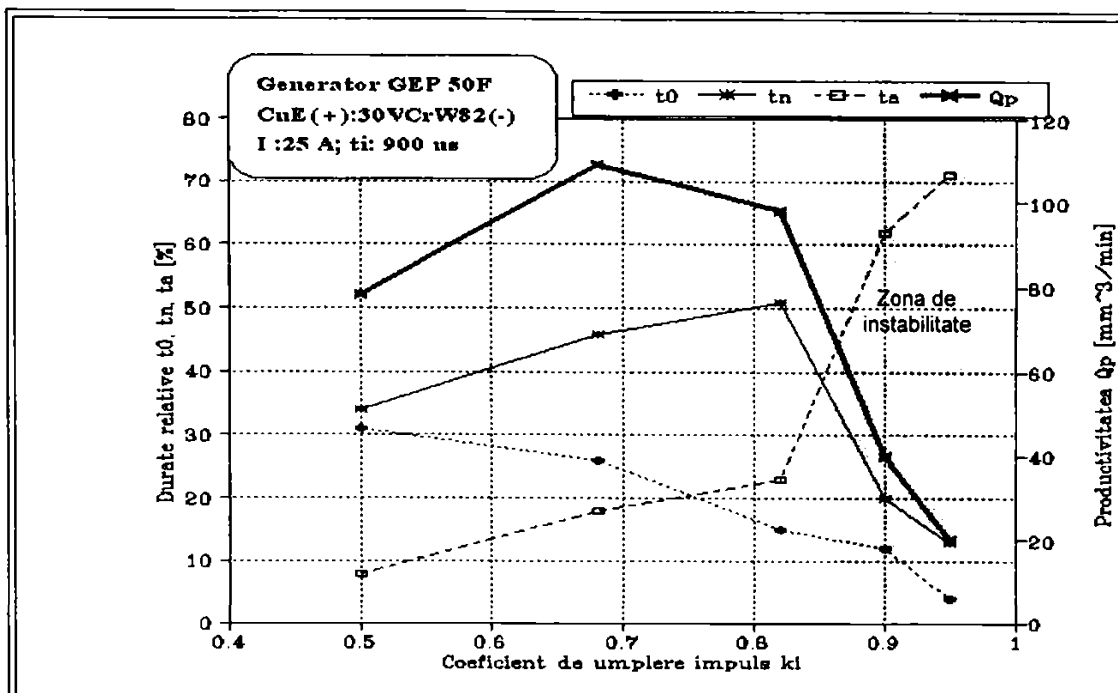
$$\tau_{n900} = 52.250 + 9.257 k_i - 9.253 p \quad (2.4.11)$$

$$Q_{P190} = 59.75 + 7.5 k_i - 3.5 p \quad (2.4.12)$$

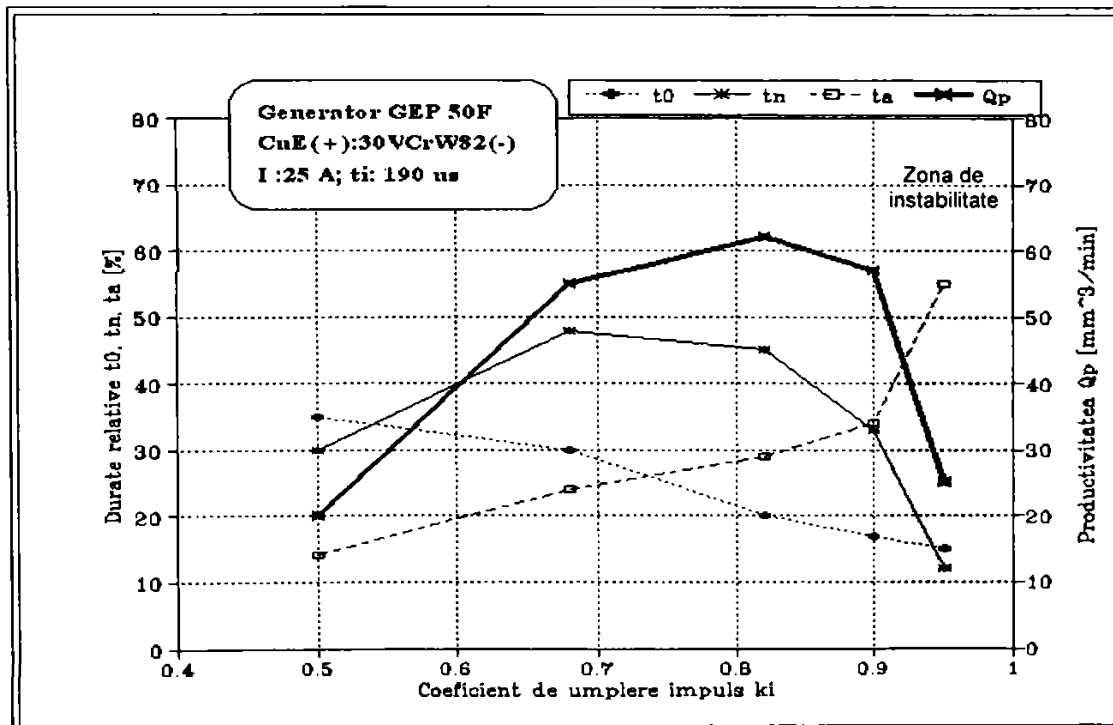
$$Q_{P900} = 80.75 + 18.25 k_i - 3.3 p \quad (2.4.13)$$

Concluzie:

In regim ON-LINE se poate determina marimea momentana si evolutia in timp a valorii coeficientului de eficienta τ_n . Conducerea procesului de prelucrare in sensul mentinerii acestuia in domeniul de maxim (indiferent de valoarea concreta) ofera garantia obtinerii productivitatii maxime, pentru conditiile concrete in care se desfasoara prelucrarea.

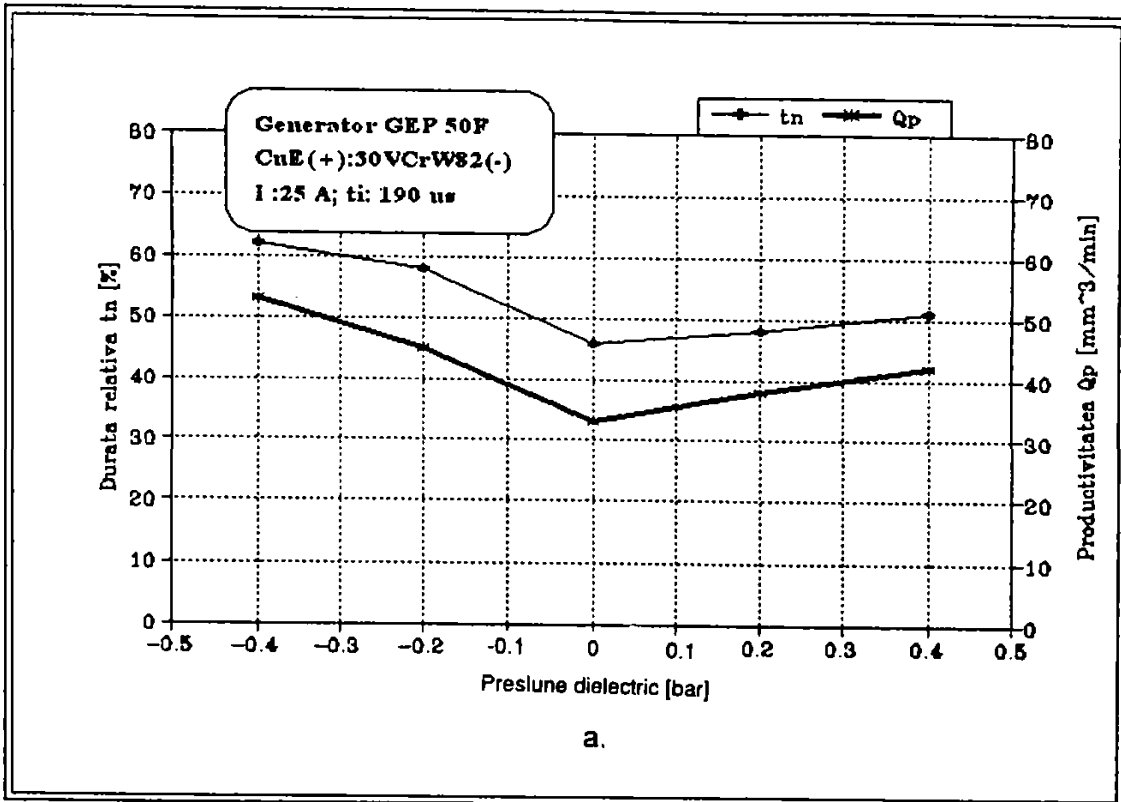


a.

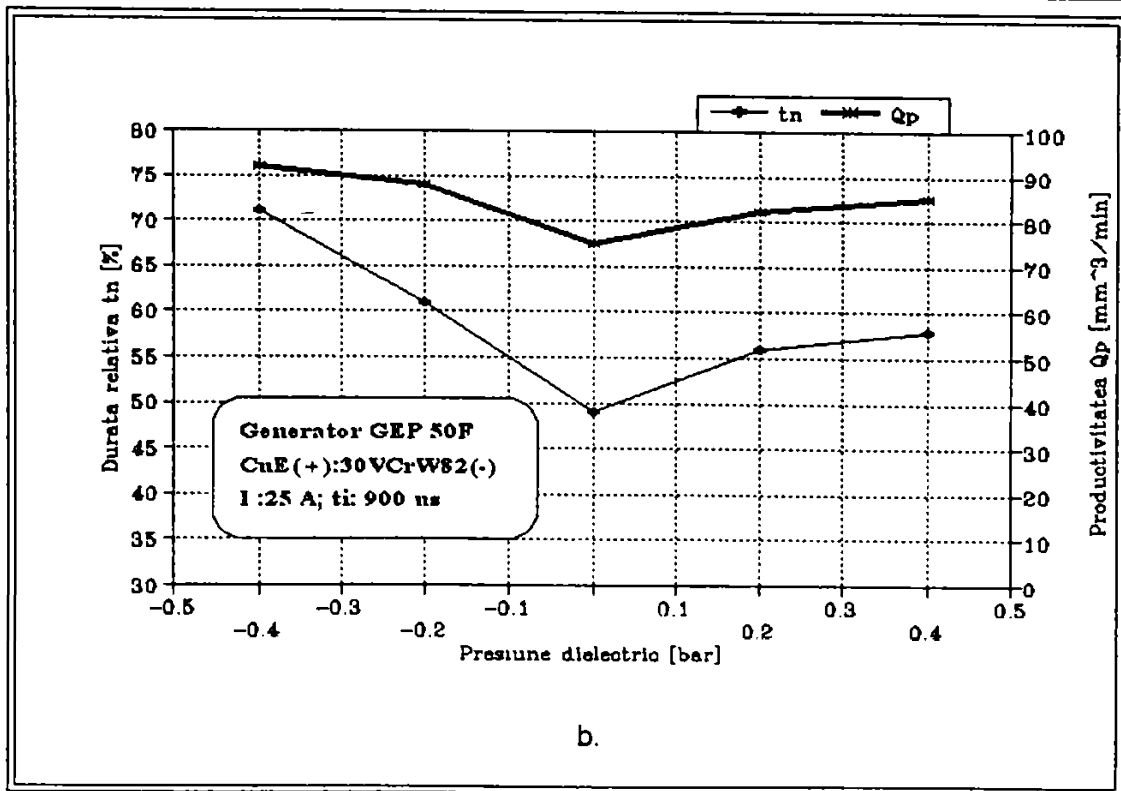


b.

Fig.2.4.13. Influenta coeficientului de umplere k_i asupra productivitatii si coeficientului de eficienta



a.



b.

Fig.2.4.14. Influenta presiunii dielectricului in interstitiu asupra productivitatii si coeficientului de eficienta.

CAP.3. CERCETARI ASUPRA CONDUCERII AVANSULUI LA MASINI DE PRELUCRARE PRIN EROZIUNE ELECTRICA.

3.1. Introducere.

In cadrul utilajului de prelucrare prin eroziune electrica, sistemul de reglare a avansului (SRA) are rolul principal de a asigura continuitatea desfasurarii proceselor elementarea de eroziune in interstitiu. Acest rol este indeplinit prin realizarea unei miscari relative intre OT si OP, in urma careia se asigura mentinerea (cvasi)constanta a grosimii interstitiului pe toata durata prelucrarii.

In perspectiva istorica, SRA reprezinta prima bucla de reglare prezenta in structura utilajului de prelucrare prin eroziune electrica (fig. 3.1.1).

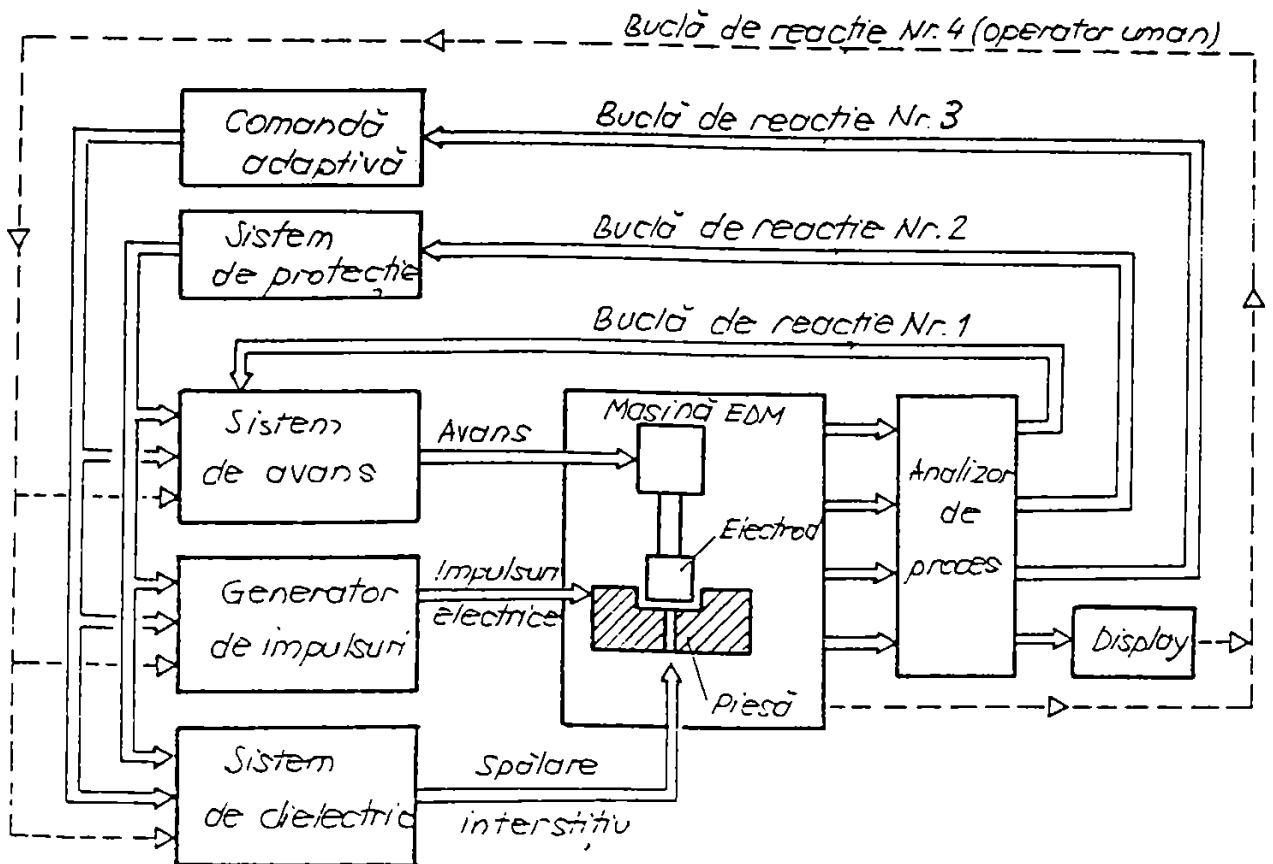


Fig.3.1.1. Buclele de reglare automata din structura unui utilaj de prelucrare prin eroziune electrica.

Pe langa acest prim rol, in cadrul utilajelor moderne SRA asigura si generarea cinematica a suprafetei prelucrate prin realizarea avansului pe doua sau mai multe axe (conturare plana , prelucrare spatiala) – aspect care va fi tratat in cap. 4 al prezentei lucrari.

Data fiind importanta reglarii avansului pentru calitatea procesului de prelucrare, problema a fost abordata de un numar mare de cercetatori, atat la momentele de inceput ale dezvoltarii eroziunii electrice [19, 58, 66, 72, 81, 92, 94, 104, 130, 156, 158, 162, 166, 168] precum si in ultimii ani [11, 77, 86, 106, 108, 130, 140, 141, 167], evidentiindu-se tendinta de a alinia metodic abordarii problemei la nivelul actual al tehnicii de reglare, bazata pe utilizarea microprocesoarelor, respectiv a microcalculatoarelor.

3.2. Structura SRA.

La nivel structural, SRA se identifica cu un sistem de reglare automata functie de abatere, realizat dupa schema bloc prezentata in fig. 3.2.1.

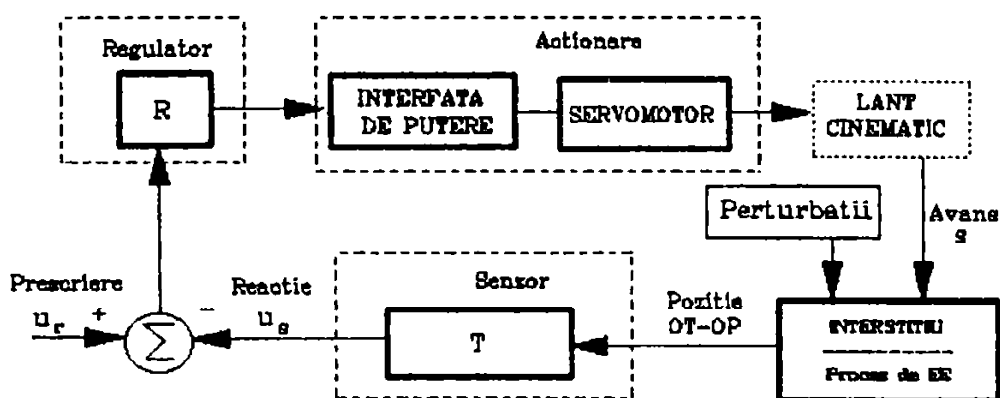


Fig.3.2.1. Schema bloc a SRA.

Obiectul supus reglarii este interstitiul eroziv, caracterizat in doua moduri:

- static, prin dimensiunea geometrica (grosimea) stabilita prin pozitia relativa dintre OT si OP;
- dinamic, prin viteza de variatie a acestei pozitii, urmare a proceselor erozive de prelevare si uzura - pe de o parte, respectiv miscarii relative OT- OP - pe de alta parte.

Sub acest aspect, SRA poate fi caracterizat in mod dual, ca fiind:

- - sistem de reglare a vitezei;

- - sistem de reglare a pozitiei.

Incadrarea SRA intr-una din cele doua categorii reprezinta, in ultima instanta, o problema de interpretare care trebuie sa tina cont de particularitatile constructive si functionale particulare ale aplicatiei concrete studiate. Opinia personala a autorului inclina spre considerarea SRA ca sistem de reglare a pozitiei, din urmatoarele motive:

1. - variatia interstitiului, urmare a proceselor de prelevare este discontinua si se datoreaza straturilor de material prelevate succesiv [4];
2. – atat pozitia relativa OT-OP, care se regleaza din motive fenomenologice cat si pozitiiile absolute ale acestora fata de un sistem de coordonate sunt variabile in timp;
3. – conceptul de reglare a pozitiei include si reglarea vitezei dupa o lege prestabilita.

Acest punct de vedere a fost exprimat si in [86] si este evident justificat in toate cazurile de generare cinematica a suprafetelor prin avans comandat pe mai multe axe.

Structura constructiva a unui SRA se sintetizeaza din blocuri componente, avand ca obiectiv final obtinerea unor parametri cinematici, dinamici geometrici si functionali stabiliti aprioric (fig.3.2.2), in concordanta cu caracteristicile globale ale utilajului de prelucrare. Un anumit SRA este caracterizat printr-o combinatie particulara a nivelelor parametrilor, explicat in tabelul 3.2.1.

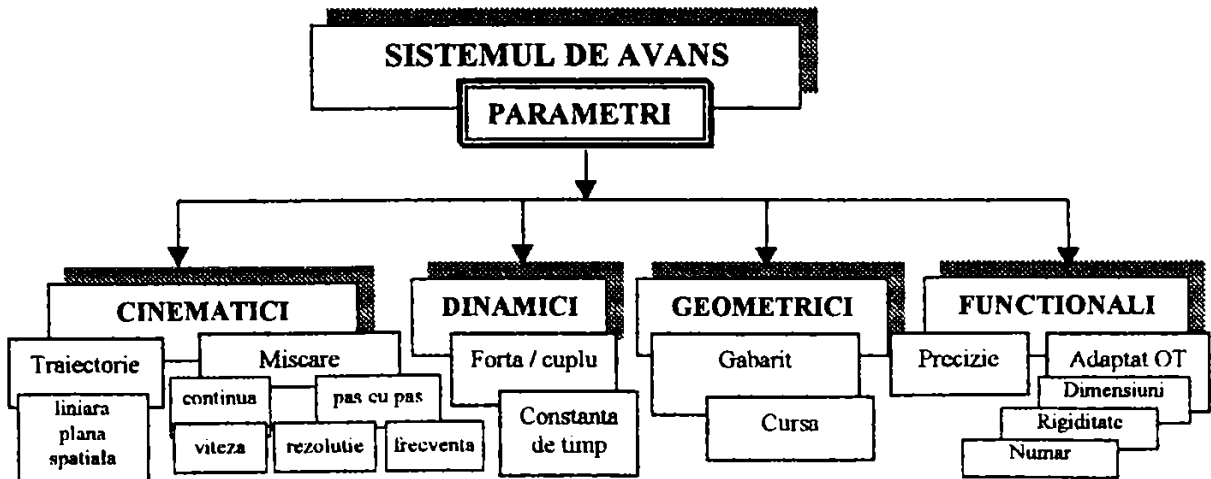


Fig.3.2.2. Parametrii SRA

Clasificarea elementelor de actionare si ale lanturilor cinematice, folosite in constructia SRA in mod uzual sau particular este prezentata in tabelul 3.2.2.

Tabelul 3.2.1. Clasificarea parametrilor SRA.

Nr. crt.	Parametrul				Obs.
	Denumire / cod	nivele			
		nr.	cod	semnificatie	
1.	Traietorie T	3	T1	rectilinie pe o axa	Caracteristici primare – impuse de utilajul de prelucrare
			T2	curbilinee (rotatie)	
			T3	Complexa (plana, spatiala)	
2.	Cursa C	3	C1	mica (< 30 mm)	
			C2	mare (> 30 mm)	
			C3	nelimitata constructiv	
3.	Fora (cuplul) de actionare F	3	F1	mica (<10 ³ N (Ncm))	
			F2	medie (10... 10 ³ N(Ncm))	
			F3	mare (>10 ³ N (Ncm))	
4.	Gabarit G	2	G1	mic (restrictiv)	
			G2	fara restrictii	
5.	Obiectul mobil O	2	O1	scula (OT)	
			O2	ambele (OT si OP)	
6.	Caracteristica sculei S	2	S1	masiv, rigid	
			S2	filiform, banda (nerigid)	
7.	Gama de viteze V	3	V1	mica (<1:50)	Caracteristici secundare – impuse de elementul de executie
			V2	medie (1:50... 1:100)	
			V3	mare (> 1:100)	
8.	Constanta de timp CT	3	CT1	mica (< 1ms)	
			CT2	medie (1... 20 ms)	
			CT3	mare (>20 ms)	
9.	Caracteristica miscarii M	2	M1	continua	
			M2	intermitenta (pas cu pas)	

Solutiile adoptate pentru elementele de actionare si lantul cinematic aferent trebuie sa asigure:

- momente sau forte rezistente mici, pentru reducerea zonelor de insensibilitate;
- inertie redusa, pentru obtinerea unor caracteristici dinamice cat mai bune;
- jocuri reduse (practic nule) in angrenaje, pentru reducerea (eliminarea) timpului mort;
- rigiditate ridicata, pentru asigurarea preciziei de deplasare a obiectului antrenat;
- randament ridicat.

Aceste cerinte sunt indeplinite in totalitate prin utilizarea motoarelor de executie de CC cu inertie redusa, lanturi cinematice performante si variatoare de tensiune rapide.

Performante dinamice mai reduse, dar satisfacatoare pentru utilajele de gabarite medii (universale sau cu electrod filiform) precum si pentru aplicatii spe-

Tabelul 3.2.2. Sisteme de actionare pentru SRA

Nr. crt.	Servomotor						Interfata de putere	Lant cinematic		Destinatia (tip utilaj)	Obs.
	Tip	Caracteristici (cf. tab..3.2.1)						Tip	T		
		M	F	V	CT	C					
1.	Hidraulic liniar	M1	F1 F2 F3	V2	CT2 CT3	C2	Servovalva electrohidraulica	-	T1	universal	Tendinte de renuntare
2.	Electric, rotativ de cc	M1	F2 F3	V2 V3	CT1	C3	Variator de tensiune continua	R	T2	special	Utilizare curenta
								MSP (+R)	T1	universal	
								MPC (+R)	T1	special	
3.	Electric, rotativ, pas cu pas	M2	F1 F2	V2 V3	CT2	C3	Contactoare statice	R	T2	special	
								MSP (+R)	T1	universal	
								MPC (+R)	T1	special	
4.	Electric, rotativ de ca	M1	F1 F2	V2	CT2	C3	Variator de tensiune alternativa	R	T2	special	Depositar tehnic
								MSP (+R)	T1	universal	
								MPC (+R)	T1	special	
5.	Electromagnetic (solenoidal)	M1	F1	V2	CT1 CT2	C1	Amplificator electronic	-	T1	simple, speciale	Aplicatii speciale
6.	Magnetostrictiv	M2	F1 F2	V1	CT2	C2	Contactoare statice	-	T1	experimental	
7.	Electrotermic	M1	F1	V1	CT3	C1	Amplificator electronic	-	T1	special	
8.	Piezoelectric	M1, M2	F1	V3	CT1	C1	Amplificator electronic	-	T1	special	

Nota: R - reductor de turatie; MSP - mecanism surub-piulita; MPC - mecanism pinion-cremaliara; MF - mecanism cu role de frictiune.

ciale sunt asigurate prin utilizarea motoarelor rotative pas cu pas, acestea oferind avantajul economic al costului mai redus al ansamblului prin alimentarea motorului

de la circuite cu contactoare statice care pot fi comandate direct cu semnale digitale furnizate de un sistem de calcul.

In tabelul 3.2.3. se prezinta caracteristicile sistemelor de avans electrohidraulic si electromecanic cu care sunt echipate masinile de prelucrare prin eroziune electrica tip ELER.

Regulatorul prelucreaza semnalul de eroare rezultat din insumarea algebrica a unei marimi de prescriere cu semnalul de reactie de pe spatiul de lucru, furnizand semnalul de comanda a actionarii. Impreuna cu traductorul de reactie, acesta constituie practic blocul de comanda si reprezinta componenta cea mai dinamica a SRA, susceptibila perfectionarii.

Tabelul 3.2.3. Comparatia intre SRA electrohidraulic si electromecanic

Parametrul		Tipul actionarii	
Denumirea	UM	Electrohidraulic	Electromecanic
Cursa	mm	500	500
Viteza max.	mm/min	150	400
Rezolutia de deplasare	μm	-	0.25
Constanta de timp	ms	~170	2
Timp de pozitionare pentru 10 μm	ms	40...80	20
Existenta timpului mort	-	da	nu
Existenta histerezis	-	da	nu
Existenta calculator	-	nu	da
Existenta buclei de pozitie	-	nu	da

Cercetarile prezentate in cadrul acestui capitol au fos orientate in urmatoarele directii:

- perfectionarea sistemului de comanda a avansului prin:
 - identificarea unor parametri optimali pentru caracterizarea interstitiului;
 - implementarea, in cadrul unui utilaj industrial unui sistem de comanda extremala pentru SRA;
- realizarea unor SRA pentru aplicatii particulare.

3.3. Interstitiul ca obiect al reglarii automate.

Spatiul geometric cuprins intre suprafetele in interactiune ale electrozilor OT si OP, denumit uzual interstitiu eroziv sau simplu interstitiu reprezinta locul de desfasurare a fenomenelor elementare caracteristice eroziunii electrice. Sub acest aspect, interstitiul poate fi considerat ca un sistem complex a carui evolutie in timp caracterizeaza transformarile geometrice si fizico-chimice ale unei multimi de parametri de intrare de natura cinematica, electrica si substantiala (fig.3.3.1). Valorile parametrilor de iesire – geometrici, electrici si tehnologici – caracterizeaza cantitativ si calitativ transformarile din interstitiu.

In cadrul sistemului tehnologic de prelucrare prin eroziune electrica, interstitiul este supus unei reglari automate, finalitatea urmarita a acesteia fiind in toate cazurile extremizarea valorilor unor caracteristici tehnologice ale prelucrarii.

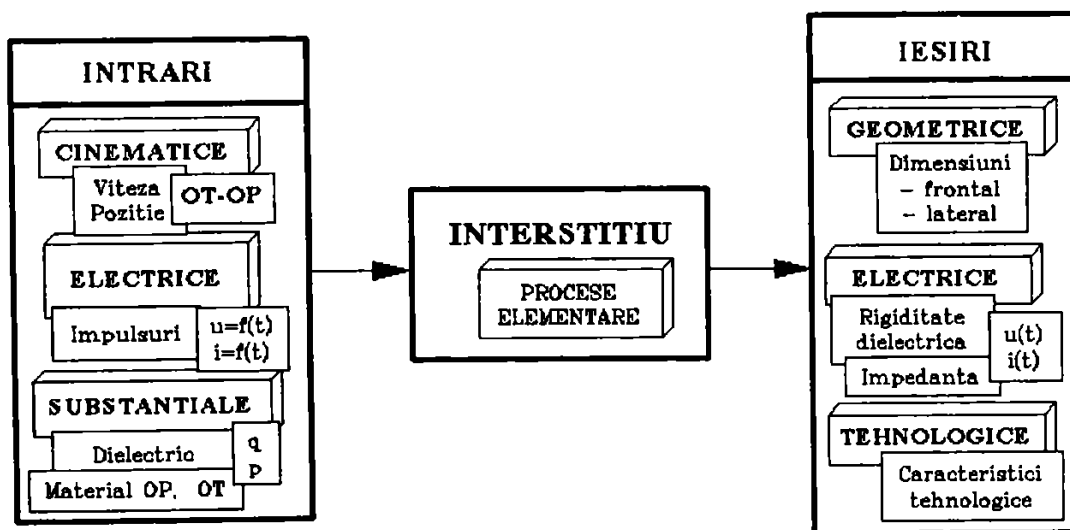


Fig.3.3.1. Parametrii interstitiului eroziv

3.3.1. Caracterizarea geometrica a interstitiului.

Structura idealizata a interstitiului este prezentata in fig.3.3.2 in care se remarca cele doua zone esentiale :

1. interstitiul activ –frontal g_{fr} si lateral g_{la} ;
2. interstitiul pasiv, g_{lp} .

Interstitiul activ, in care descarcarile electrice sunt amorsate preponderent intre suprafetele electrozilor are grosimi stabilite in urma procesului de reglare automata pe durata prelucrarii (parametrii ON-LINE).

Interstitiul pasiv se stabileste in urma descarcarilor amorsate intre electrozi prin intermediul deseurilor conductoare care il strabat in cursul procesului de

evacuare din interstiul activ. Grosimea acestuia, care este un parametru OFF-LINE trebuie stabilizata pentru a se atinge precizia de prelucrare impusa.

In concluzie, caracterizarea ON-LINE a interstiului se face prin :

- parametrii geometrici – grosimea in zonele active;
- parametrii electrici, stabiliti in urma evolutiei impulsurilor electrice aplicate interstiului.

Aplicand o tensiune U_0 pe electrozi, intre acestia se stabileste un camp electric E , cu intensitatea:

$$E = \frac{U_0}{g} \quad [\text{V/m}] \quad (3.3.1)$$

Conditia de strapungere este :

$$E \geq E_s \quad (3.3.2)$$

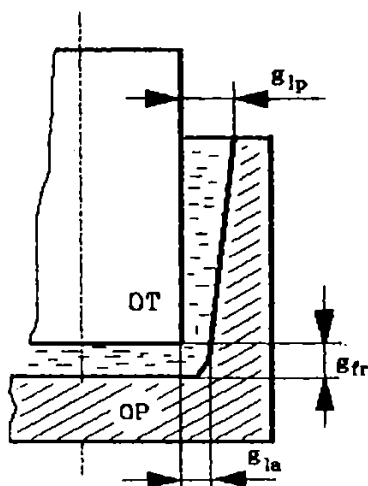


Fig.3.3.2. Structura geometrica a interstiului .
 g_a - interstiul activ; g_i - interstiul pasiv

unde: E_s - rigiditatea dielectrica a interstiului.

Pe baza relatiei 3.3.2 se poate calcula grosimea interstiului:

$$g = \frac{U_0}{E_s} \quad [\text{m}] \quad (3.3.3)$$

In cazurile practice, marimile U_0 si E_s sunt fixe (eventual modificabile in trepte) si sunt caracteristice utilajului de prelucrare (generatorului, respectiv lichidului dielectric folosit). Ca urmare, grosimea interstiului activ poate lua valori intre doua limite :

$$g_{min} < g < g_{max}$$

in care: g_{min} reprezinta o grosime minima fizic realizabila, in conditiile concrete din interstiu si care conduce la scurtcircuit intre electrozi; g_{max} – grosimea calculata cu relatia (3.3.3) pentru U_0 si E_s dati.

In realitate, stabilirea grosimii interstiului prin aplicarea relatiei (3.3.3) nu este fezabila, deoarece suprafetele reale ale electrozilor, in majoritatea cazurilor, au o configuratie spatiala complexa si sunt rugoase, ceea ce conduce la o neuni-

formitate a campului electric in interstitiu. Pe de alta parte, rigiditatea E_s a dielectricului este variabila (functie de continutul de impuritati, de parametrii de circulatie, de temperatura etc.) [13].

In conditiile derularii procesului electroeroziv, grosimea interstitiului activ g_a se poate calcula cu relatia [50]:

$$g_a = k_1 \cdot U_0 + k_2 \cdot w_i^{0.4} + a \quad [\mu\text{m}] \quad (3.3.4)$$

in care: k_1 - constanta pentru lichidul dielectric [$\mu\text{m}/\text{V}$], k_2 - constanta de material pentru OP [$\mu\text{m}/\text{J}^{0.4}$], a - interstitiul mecanic [μm].

Grosimea interstitiului pasiv, in care au loc preponderent procese de maruntire si evacuare a deseurilor creste cu cresterea numarului de particule prelevate si a duratei de traversare a interstitiului [8]. Prin urmare, cresterea adancimii de prelucrare, stabilitatea scazuta a prelucrarii si rigiditatea scazuta a OT (si/sau OP) conduc la cresterea interstitiului pasiv.

Numeroase cercetari [4,71,86,133,155,166] precum si practica industriala [50,150,169,172,173] evidentiaza valori ale grosimii interstitiului frontal cuprinse intre cca. 10 μm in cazul prelucrarilor de finisare si 0.2 ...0.3 mm in cazul degrosarii. Interstitiul lateral are in general valori cu 20...50 % mai mari, functie de conditiile de prelucrare.

In cazul general, grosimea interstitiului se poate exprima printr-o functie de mai multe variabile:

$$g = f(U_0, w_i, p, A, h, k_1, k_2) \quad (3.3.5)$$

in care : U_0 - tensiunea de mers in gol a generatorului; w_i - energia impulsurilor; p - parametrul circulatiei dielectricului; A - aria suprafetei prelucrate; h - adancimea de prelucrare; k_1, k_2 - materialul OT, OP.

Masurarea directa, in proces a grosimii interstitiului frontal in scopul reglarii marimii acestuia, desi in principiu posibila [14,88,114] nu se aplica in practica, fiind nerecomandabila din mai multe motive:

- necesita echiparea masinii cu dispozitive de masurare suplimentare, relativ complicate si care perturba procesul de prelucrare;
- grosimea interstitiului nu este uniforma ci prezinta variatii locale tranzitorii, importante pentru desfasurarea proceselor elementare si care nu pot fi puse in evidenta prin masuratori geometrice;
- pentru ansamblul procesului de prelucrare este mai importanta decat cunoasterea dimensiunii geometrice momentane si locale cunoasterea starii fizice a interstitiului. Pentru aceasta, se dispune de semnalele electrice direct masura-

bile care pot caracteriza atat starea momentana cat si tendinta de evolutie a interstitiului.

3.3.2. Caracterizarea interstitiului prin marimi direct masurabile .

Stabilirea unor parametri caracteristici interstitiului, care sa fie direct masurabili in regim ON-LINE a constituit o preocupare importanta a cercetatorilor in domeniu [11,44,49,53,62,65,104,106,154,162,167]. In esenta, pentru caracterizarea globala (geometrica si fizica) a interstitiului se cauta relatii de forma:

$$x_g = f(g) \quad (3.3.6)$$

unde x_g este un parametru direct masurabil in proces sau determinat prin prelucrarea in timp real a unor marimi masurabile si care trebuie sa indeplineasca urmatoarele conditii:

- sa caracterizeze biunivoc interstitiul, din punc de vedere al proceselor elementare;
- sa fie usor de masurat si prelucrat;
- sa fie cat mai putin dependent de parametrii regimului de prelucrare;
- sa ofere posibilitatea identificarii starii optime a interstitiului.

Considerand x_g drept un semnal de reactie din proces, se poate defini sensibilitatea S a semnalului:

$$S = \frac{dx_g}{dg} \quad (3.3.7)$$

Semnalele x_g de natura electrica cele mai utilizate sunt reprezentate de variatia in timp a tensiunii pe interstitiu, $u(t)$, uneori alaturi de variatia curentului, $i(t)$.

3.3.2.1. Caracterizarea interstitiului prin valori medii ale tensiunii.

In cazul utilizarii generatorului de impulsuri comandate se pot evidentia urmatoarele valori medii ale tensiunii (fig.3.3.3).

1.Tensiunea medie pe impuls:

$$U_i = \frac{I}{t_u} \int_0^{t_u} u(t) \cdot dt \quad (3.3.8)$$

2. Tensiunea medie pe descarcare;

$$U_d = \frac{1}{t_i} \int_0^{t_i} u(t) \cdot dt = \frac{1}{t_u - t_a} \int_{t_a}^{t_u} u(t) \cdot dt \quad (3.3.9)$$

3. Tensiunea medie pe interstitiu:

$$U_m = \frac{1}{T} \int_0^T u(t) \cdot dt = \frac{1}{t_u + t_p} \int_0^T u(t) \cdot dt \quad (3.3.10)$$

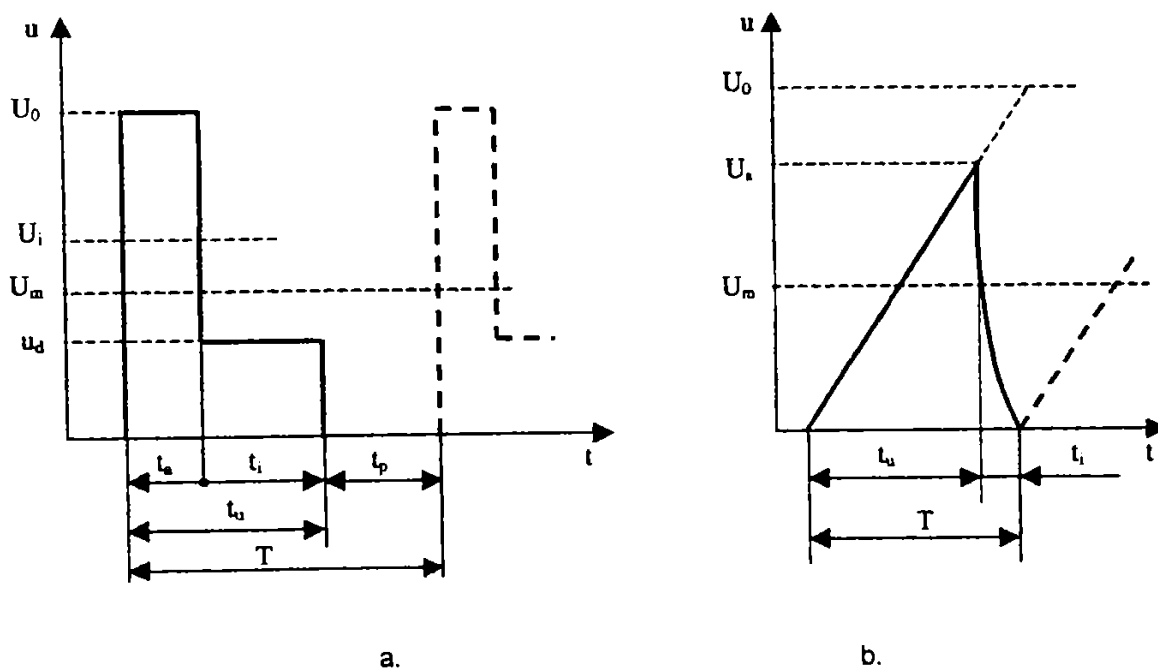


Fig.3.3.3 Determinarea valorilor medii ale tensiunii: a – pentru impulsuri comandate; b – pentru impulsuri de relaxare.

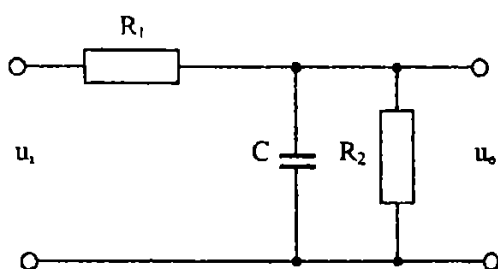
In cazul generatoarelor de relaxare comandate – la care incarcarea condensatorului se face cu impulsuri de curent de amplitudine constanta – duratele caracteristice ale impulsurilor de tensiune sunt:

$$t_u = \frac{C \cdot U_s}{i \cdot k_u} \quad (3.3.11)$$

$$t_i \cong 3 r_d C \quad (3.3.12)$$

unde: C – capacitatea condensatorului de acumulare; U_s – tensiunea de strângere; i – amplitudinea impulsurilor de curent de incarcare; k_u – coeficientul de umplere a impulsurilor de curent; r_d – rezistenta circuitului de descarcare a condensatorului.

Pentru obtinerea acestor valori medii de tensiune se folosesc divizoare de tensiune integratoare, realizate dupa schema din figura 3.3.4 cu functia de transfer



$$Y(s) = \frac{I}{I + R_1 \cdot C \cdot s + \frac{R_1}{R_2}} \quad (3.3.13)$$

Caracteristica statica a interstitiului, exprimata prin functia:

Fig.3.3.4. Schema divizorului de tensiune integrator.

$$U_m = f(g) \quad (3.3.14)$$

pentru parametrii: U_0 , t_i , t_p , constanti este prezentata in figura 3.3.5.a.

In urma liniarizarii (fig.3.3.5.b), caracteristica poate fi definita pe intervale:

$$U_m(g) = \begin{cases} g \cdot tg\alpha_1 & \text{pentru } g \in [g_{min}, g_1] \\ g \cdot tg\alpha_2 & \text{pentru } g \in [g_1, g_2] \\ g \cdot tg\alpha_3 & \text{pentru } g \in [g_2, g_{max}] \\ U_0 & \text{pentru } g \geq g_{max} \end{cases} \quad (3.3.15)$$

Avantajul oferit de acest semnal este cel al simplitatii ceea ce-l recomanda pentru utilajele de mica complexitate, respectiv in cazul utilizarii generatoarelor de relaxare.

Dezavantajele sunt multiple, si anume:

- sensibilitatea $S_i = tg\alpha_i$ ($i = 1,2,3$) este relativ mare pentru grosimi ale interstitiului g apropiate de limitate intervalului $[g_{min}, g_{max}]$, dar este scazuta in domeniul (g_1, g_2) , in care se gaseste valoarea optima g_{opt} . Grosimea optima nu se poate determina decat in regim OFF-LINE;
- tensiunea medie este influentata de coeficientul de umplere a impulsurilor de tensiune, $k_u = t_i/T$. Acest fapt implica necesitatea adaptarii permanente a cons-

tantei de timp a divizorului de tensiune la valoarea k_U , dependenta de parametrii regimului de prelucrare.

Utilizarea variantelor U_l , U_d [53] complica circuitele de prelucrare a semnalelor, care in acest caz trebuie sa fie conduse printr-o baza de timp pentru delimitarea intervalelor de masurare.

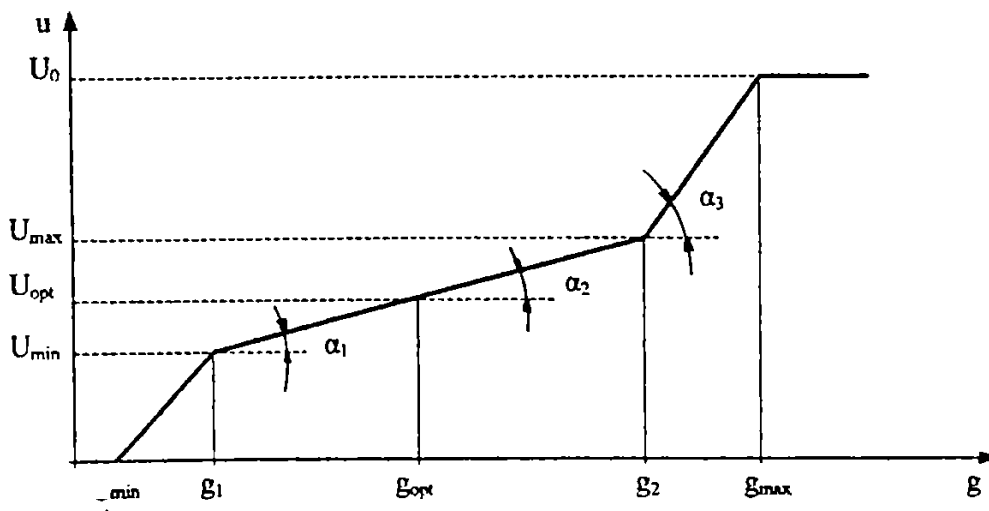
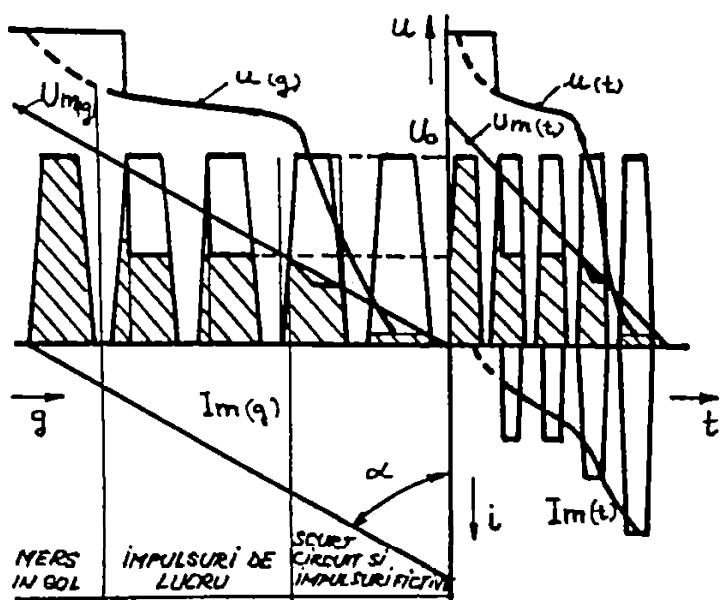


Fig.3.3.5.Caracteristica statica a interstitiului; a. – reala; b – liniarizata.

3.3.2.2.Parametrii temporali ai impulsurilor de tensiune.

Caracterizarea dinamica a interstitiului impune evidentiarea variatiilor parametrilor impulsurilor la nivel individual si de grup. Astfel, se poate utiliza faptul ca intre momentul aplicarii impulsului de tensiune pe interstitiu si momentul

amorsarii descarcarii se scurge intervalul de timp, t_a , a carui marime se exprima prin [49]:

$$t_a = K \cdot \frac{g}{\gamma \cdot E^2} = K \cdot \frac{g^3}{\gamma \cdot U^2} \quad (s) \quad (3.3.16)$$

in care: k – constanta, g – grosimea interstitiului (m), γ - conductivitatea electrica $(\Omega \cdot m)^{-1}$, E – intensitatea campului electric (V/m).

Pe durata t_a pe interstitiu se regaseste tensiunea de mers in gol U_0 , ceea ce influenteaza valorile medii ale tensiunilor pe impuls, pe descarcare si pe interstitiu. In acelasi timp, durata de intarziere la amorsare t_a poate servi ea insasi ca si parametru de stare a interstitiului [49,53,62,167]. Conditile de amorsare a descarcarii variaza aleator, functie de gradul de poluare momentana a interstitiului cu produse ale eroziunii.

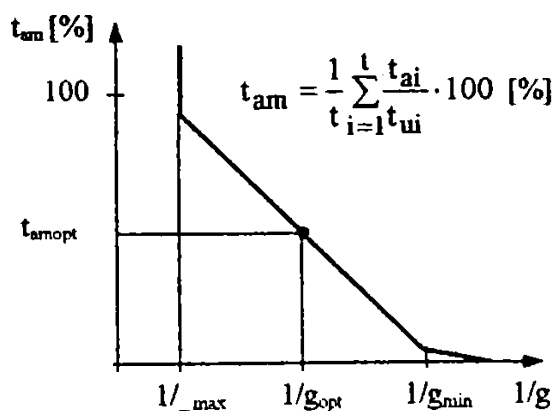


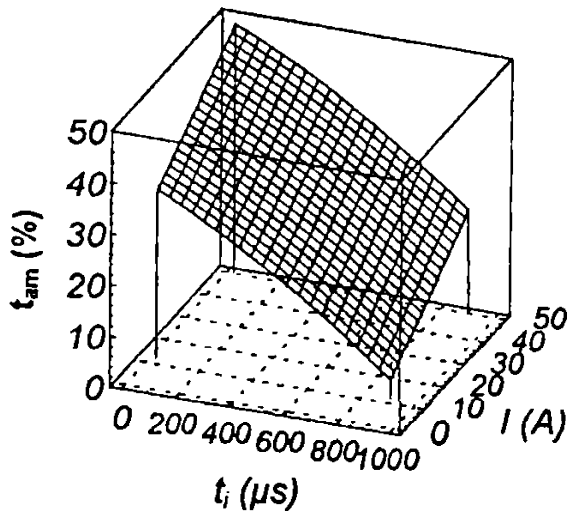
Fig.3.3.6. Variatia duratei intarzierii la amorsare cu grosimea interstitiului.

Din acest motiv parametrul care ofera o informatie utilizabila este intarzierea medie la amorsare, t_{am} . Pentru caracteristici constante ale mediului de lucru (grad de poluare, temperatura, mod de circulatie in interstitiu), intarzierea medie la amorsare depinde de grosimea g dupa caracteristica prezentata in fig.3.3.6 [8]. Fizic, durata t_{am} se materializeaza printr-o tensiune U_{tam} prin intermediul unui circuit avand schema de principiu prezentata in fig.2.3.3 din cap.2.

In afara marimii g a interstitiului, intarzierea la amorsare a descarcarii este dependenta si de durata si amplitudinea impulsului de curent, respectiv de parametrii circulatiei dielectricului [13,49,63].

S-au verificat experimental aceste dependente, rezultatele fiind prezentate sub forma suprafetelor de raspuns din fig.3.3.7 si 3.3.8.

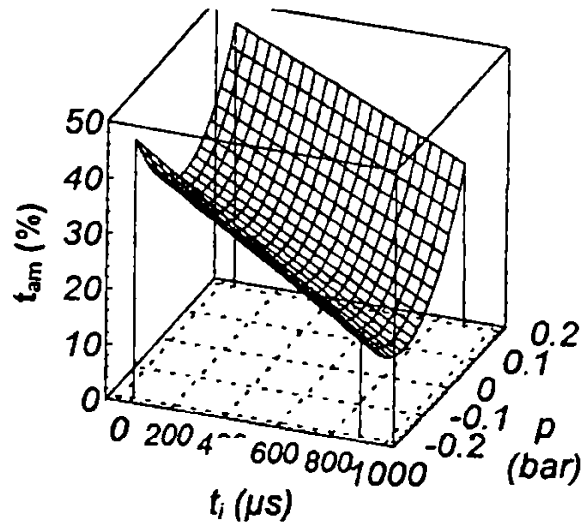
Generator: GEP 50 F
 Electrode: CuE +
 Piesa: otel 30 VCrW82
 spalare: injectie 0.2 bar



Suprafata de raspuns $t_{am}(t_i, I)$

Fig.3.3.7.

Generator: GEP 50 F
 Electrode: CuE +
 Piesa: otel 30 VCrW82
 Treapta curent : 25 A



Suprafata de raspuns $t_{am}(t_i, p)$

Fig.3.3.8.

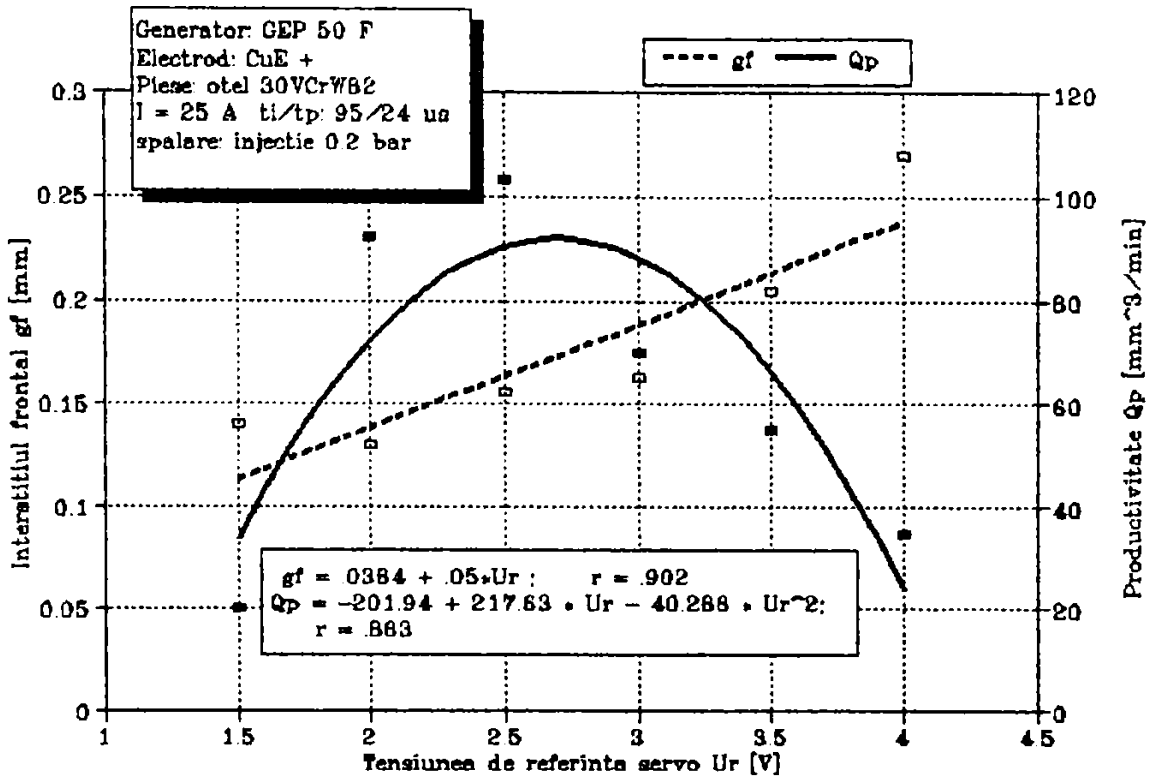
3.3.2.3. Concluzii.

Caracteristicile electrice si temporale ale impulsurilor pot servi drept parametru de reactie in cadrul SRA, oferind in regim ON-LINE informatii asupra marimii interstitiului, utilizabile pentru reglarea acestuia. Cele mai utilizate semnale sunt:

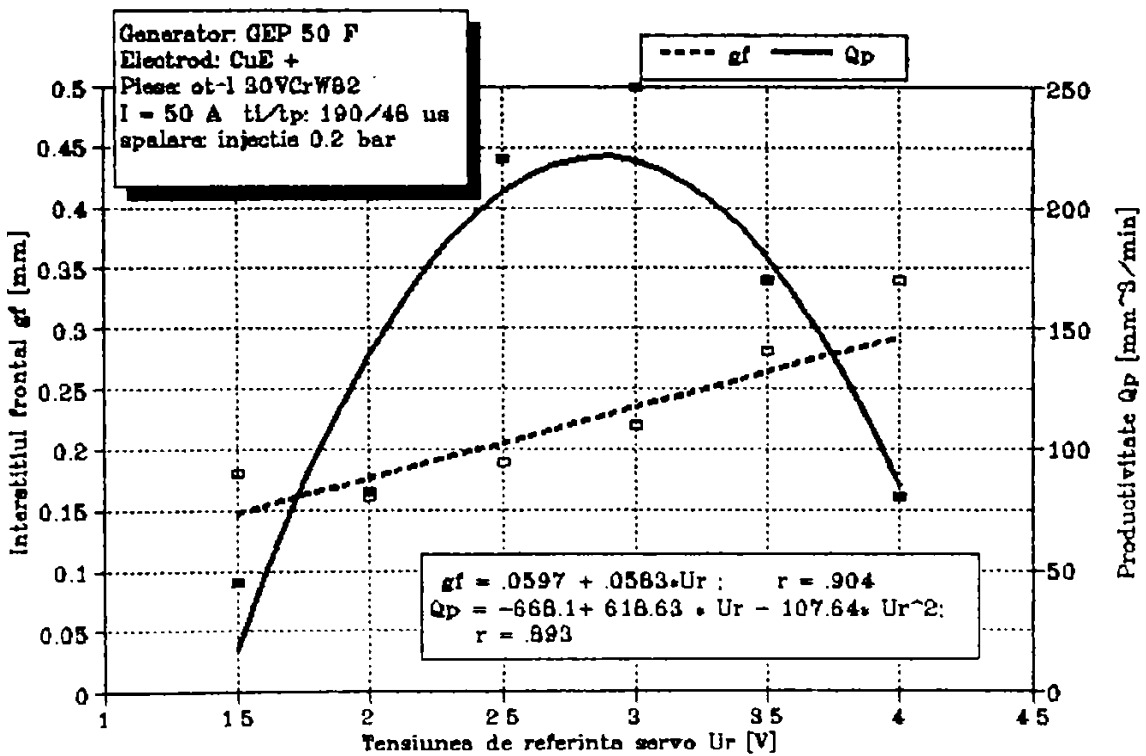
- intarzierea medie la amorsare a descarcarilor – t_{am} ;
- tensiunea medie pe interstitiu – U_m .

Variatiile monotone ale acestora in raport cu marimea interstitiului precum si perturbatiile care le afecteaza nu permit stabilirea unei valori optime pentru acesti parametri de reactie care sa conduca la o grosime optima a interstitiului.

In fig. 3.3.9 a,b sunt prezentate variatiile grosimii interstitiului frontal si a productivitatii prelucrarii functie de tensiunea de referinta prescisa, pentru masina de prelucrare prin electroeroziune ELER 01 cu generator GEP 50 F, la care marimea de reactie este t_{am} .



a.



b.

Fig. 3.3.9. Variatia interstitiului si a productivitatii cu tensiune de referinta a SRA;
 a. - pentru I = 25A; b. - pentru I = 50 A

3.3.3. Caracterizarea interstitiului prin parametrii de grup ai impulsurilor electrice.

3.3.3.1. Evolutia grosimii interstitiului.

Studiul evolutiei interstitiului in urma desfasurarii procesului de eroziune a oferit suportul teoretic necesar stabilirii corelatiilor intre parametrii de grup ai impulsurilor electrice si caracteristicile interstitiului eroziv.

Se considera modelul interstitiului din fig.3.3.10 pentru care se pot scrie:

$$g_{fr} = g_i \quad \text{la momentul } t_1; \quad (3.3.17)$$

$$g_{fr} = g_i + dp \quad \text{la momentu } t_2 = t_1 + dt \quad (3.3.18)$$

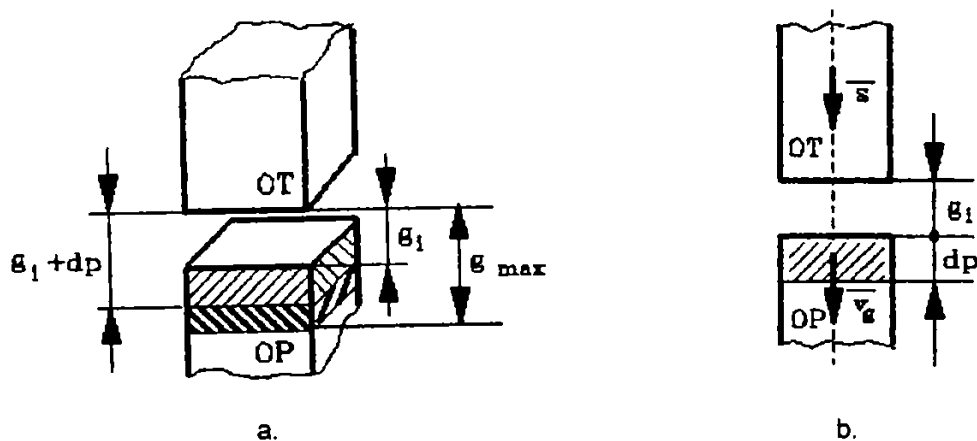


Fig.3.3.10. Interstitiul static (a) si stationar (b).

Pentru analiza evolutiei interstitiului se aplica urmatoarele ipoteze simplificatoare:

- eroziunea se considera localizata exclusiv la obiectul de prelucrat;
- pe durata dt , pe interstitiu se aplica impulsuri cu frecventa fixa, f_i . Functie de starea interstitiului, vor apare impulsuri de diferite categorii, cu frecventele partiale care satisfac relatia:

$$f_i = f_0 + f_n + f_{an} \text{ [s}^{-1}\text{]} \quad (3.3.19)$$

in care : f_i – frecventa totala a impulsurilor aplicate; f_0 - frecventa impulsurilor in gol; f_n - frecventa impulsurilor de lucru (normale); f_{an} - frecventa impulsurilor anormale (fictive si in scurtcircuit).

- prelevarea este urmare a actiunii impulsurilor de lucru care sunt considerate a fi

toate impulsuri de prelevare:

$$f_n = f_P \quad [\text{s}^{-1}] \quad (3.3.20)$$

- volumul de material prelevat pe impuls V_{ip} este proportional cu energia impulsului w_i :

$$V_{ip} = k w_i \quad [\text{mm}^3] \quad (3.3.21)$$

In aceste conditii, volumul V_P de material prelevat in timpul dt este:

$$V_P = V_{ip} \cdot f_n \cdot dt = A_P \cdot dp \quad [\text{mm}^3] \quad (3.3.22)$$

unde : A_P – aria suprafetei supuse eroziunii $[\text{mm}^2]$;

Viteza momentana de prelevare, v :

$$v = \frac{dp}{dt} = \frac{V_{ip}}{A_P} \cdot f_n = k_P \cdot f_n \quad [\text{mm s}^{-1}] \quad (3.3.23)$$

in care pentru intervalul de timp dt suficient de mic s-au considerat V_{ip} si A_P constante:

$$\frac{V_{ip}}{A_P} = k_P \quad [\text{mm}] \quad (3.3.24)$$

Debitul prelevarii (productivitatea prelucrarii) in intervalul dt este:

$$Q_P = \frac{V_P}{dt} = V_{ip} \cdot f_n \quad (3.3.25)$$

Dupa prelevarea stratului de material cu grosimea dp , interstitiul va avea valoarea finala $g_{fin}=g_i+dp$; daca $g_{fin} < g_{max}$, procesul va continua in straturi succesive, pana la stabilirea grosimii interstitiului la g_{max} (fig.3.3.10 b).

Frecventa impulsurilor normale este o functie neliniara de grosimea interstitiului:

$$f_n = 0 \quad \text{pentru } g \geq g_{max} \text{ si } g \leq g_{min}; \quad (3.3.26)$$

$$f_n > 0 \quad \text{pentru } g_{min} < g < g_{max}$$

Relatiile (3.3.26) indica o variatie extremala a frecventei f_n functie de marimea interstitiului. In consecinta, atat viteza de prelevare v cat si debitul prelevarii Q_p vor prezenta o variatie extremala cu marimea interstitiului:

$$f_n = \phi(g); \quad v = \phi_1(g); \quad Q_p = \phi_2(g) \quad (3.3.27)$$

Din punct de vedere tehnologic, valoarea optima a interstitiului g_{opt} se defineste ca fiind aceea valoare pentru care productivitatea prelucrarii, respectiv viteza de prelevare momentana este maxima.

In regim static (fara avans) nu se poate asigura continuitatea procesului de eroziune datorita cresterii grosimii interstitiului pana la atingerea grosimii g_{max} , cand prelucrarea se intrerupe. In consecinta, este necesara miscarea de avans care va stabili grosimea interstitiului la o valoare pentru care pot apare descarcari electrice normale.

Analizand evolutia interstitiului in regim dinamic (in prezenta avansului s) (fig.3.3.11), grosimea interstitiului dupa timpul dt va fi:

$$g_f = g_i + dp - s dt \text{ [mm]} \quad (3.3.28)$$

Viteza de variatie a interstitiului :

$$\frac{dg}{dt} = \frac{g_f - g_i}{dt} = v - s \text{ [mm s}^{-1}\text{]} \quad (3.3.29)$$

In fig.3.3.12 este prezentata calitativ variatia extremala a vitezei de erodare $v = \phi_1(g)$ impreuna cu diferite valori stationare ale avansului s .

Se remarca faptul ca pentru un avans $s < v_{max}$ punctele de functionare pentru $g=constant$ sunt: $A(g_A, s)$ si $B(g_B, s)$. In prezenta unor perturbatii manifestate prin variatii mici ale grosimii echivalente a interstitiului evolutia procesului in zonele I si II ($g \geq g_B$) este stabila, deoarece marimea interstitiului tinde natural spre g_A , in care viteza de erodare momentana este egala cu avansul s . Punctul $B(g_B, s)$ corespunde limitei de stabilitate in care o variatie a interstitiului in sensul $g_B - \Delta g$ conduce la $g \rightarrow g_{min}$.

Ecartul grosimilor interstitiului corespunzator intersectiei dreptei $s = const.$ cu $v = \phi_1(g)$ ($g_A - g_B$ pentru avansul s) defineste un interval de stabilitate Δg_s care este o functie de s si de v .

Avansului optim, corespunzator vitezei de erodare maxime si grosimii optime a interstitiului:

$$S_{opt} = V_{max} \quad (3.3.30)$$

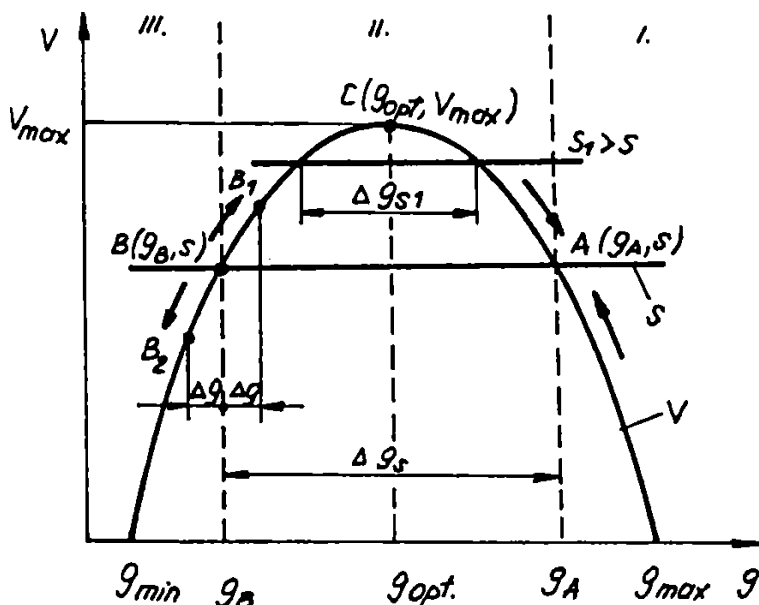
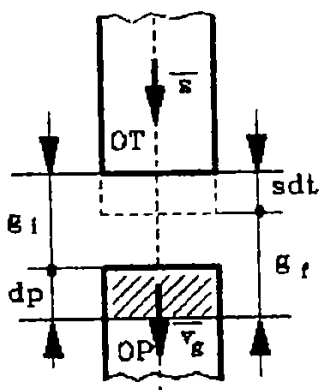


Fig.3.3.11. Intestitiul dinamic.

Fig.3.3.12. Viteza de erodare, functie de grosimea interstitiului.

ii corespunde un interval de stabilitate nul; acesta are drept consecinta imposibilitatea prescrierii unui avans constant care sa conduca la o grosime optima (sau cel putin constanta) a interstitiului.

In cazul prelucrării suprafețelor mari, cand viteza de erodare este mica, respectiv la prelucrarile de finisare la care atat viteza de erodare cat si grosimea interstitiului sunt mici, stabilizarea marimii interstitiului este dificila datorita reducerii puternice a intervalului de stabilitate chiar pentru variatii mici ale avansului, respectiv vitezei de erodare.

In concluzie, problema reglării marimii interstitiului se reduce la problema reglării avansului. Pentru un reglaj optim este necesar un semnal care sa caracterizeze permanent pozitia avansului momentan in raport cu viteza de erodare maxima. Identificarea unui asemenea semnal se prezinta in subcapitolul urmator.

3.3.3.2. Identificarea parametrilor de comanda optima.

In paragraful precedent s-a admis ipoteza ca viteza de erodare este proportionala cu frecventa partiala a impulsurilor de lucru. Aceasta ipoteza are acoperire

in rezultatele experimentale prezentate in cap. 2 unde s-au stabilit anumite corelatii intre productivitatea prelucrarii si caracteristicile de grup ale impulsurilor (tab.2.4.5).. S-a evidentiat posibilitatea maximizarii productivitatii, respectiv a vitezei de prelucrare (la o arie data a suprafetei prelucrate) prin maximizarea factorului de eficienta τ_n .

Dependentele dintre duratele relative ale impulsurilor in gol, de lucru si anormale si marimea interstitiului – prescrisa prin tensiunea de referinta a sistemului de avans –sunt prezentate grafic in fig.3.3.13 a si b si prin ecuatiile de regresie in relatiile 3.31...3.40. Masuratorile care au stat la baza acestor reprezentari sunt prezentate tabelar in anexa 3.1. Aceste rezultate permit stabilirea unor strategii de comanda optimala a avansului, plecand de la caracteristicile idealizate din fig.3.3.14.

Ecuatiile de regresie corespunzatoarea sunt :

- pentru fig.3.3.13 a:

$$Q_p = -201.94 + 217.63 u_r - 40.286 u_r^2 \quad r = .874 \quad (3.3.31)$$

$$\tau_0 = 26.308 - 31.05 u_r + 10.64 u_r^2 \quad r = .881 \quad (3.3.32)$$

$$\tau_n = -124.89 + 140.26 u_r - 26.57 u_r^2 \quad r = .912 \quad (3.3.33)$$

$$\tau_{an} = 256.73 u_r \wedge (-3.513) \quad r = .897 \quad (3.3.34)$$

$$Q_p = 4.811 + 1.433 \tau_n \quad r = .976 \quad (3.3.35)$$

- pentru fig.3.3.13 b:

$$Q_p = -668.1 + 618.84 u_r - 107.64 u_r^2 \quad r = .912 \quad (3.3.36)$$

$$\tau_0 = 45.49 - 50.66 u_r + 14.57 u_r^2 \quad r = .863 \quad (3.3.37)$$

$$\tau_n = -132.71 + 121.57 u_r - 20.86 u_r^2 \quad r = .907 \quad (3.3.38)$$

$$\tau_{an} = 302.45 u_r \wedge (-3.29) \quad r = .868 \quad (3.3.39)$$

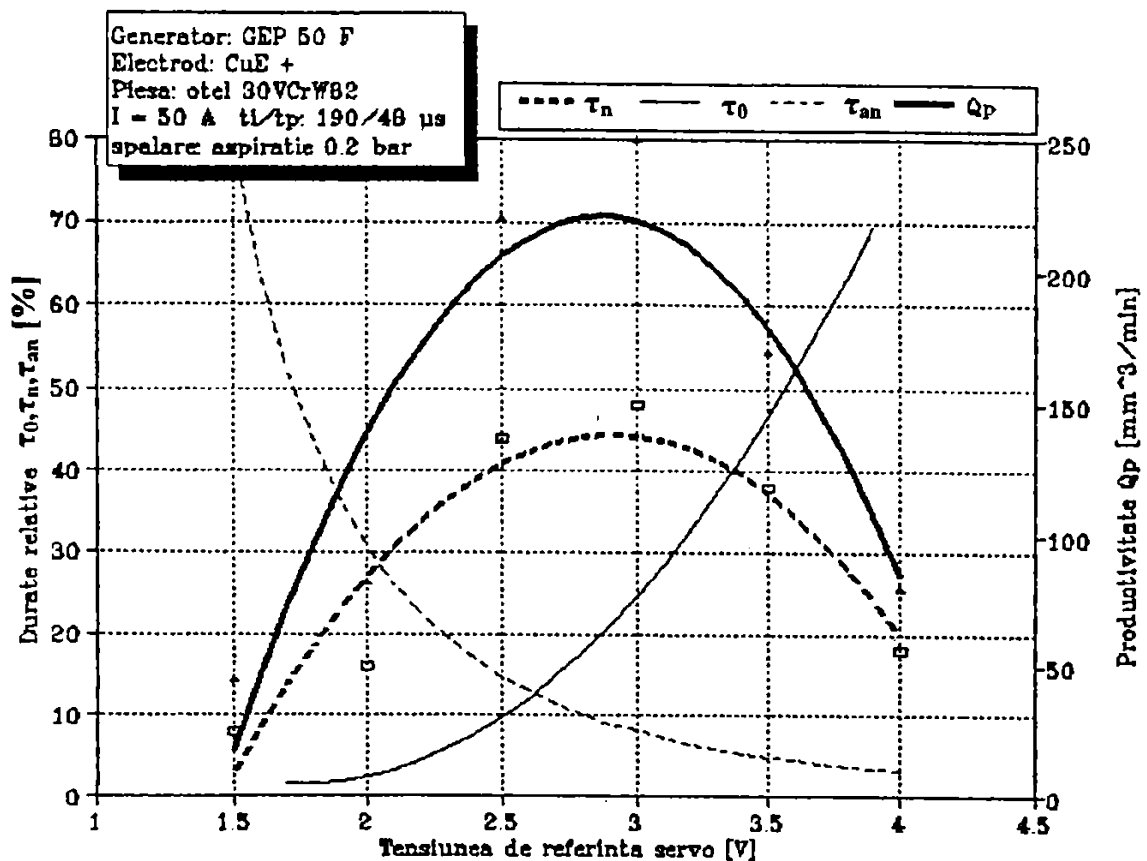
$$Q_p = 0.984 + 4.927 \tau_n \quad r = .983 \quad (3.3.40)$$

Utilizand relatia (3.29) variatia dg a grosimii interstitiului pe durata dt are expresia:

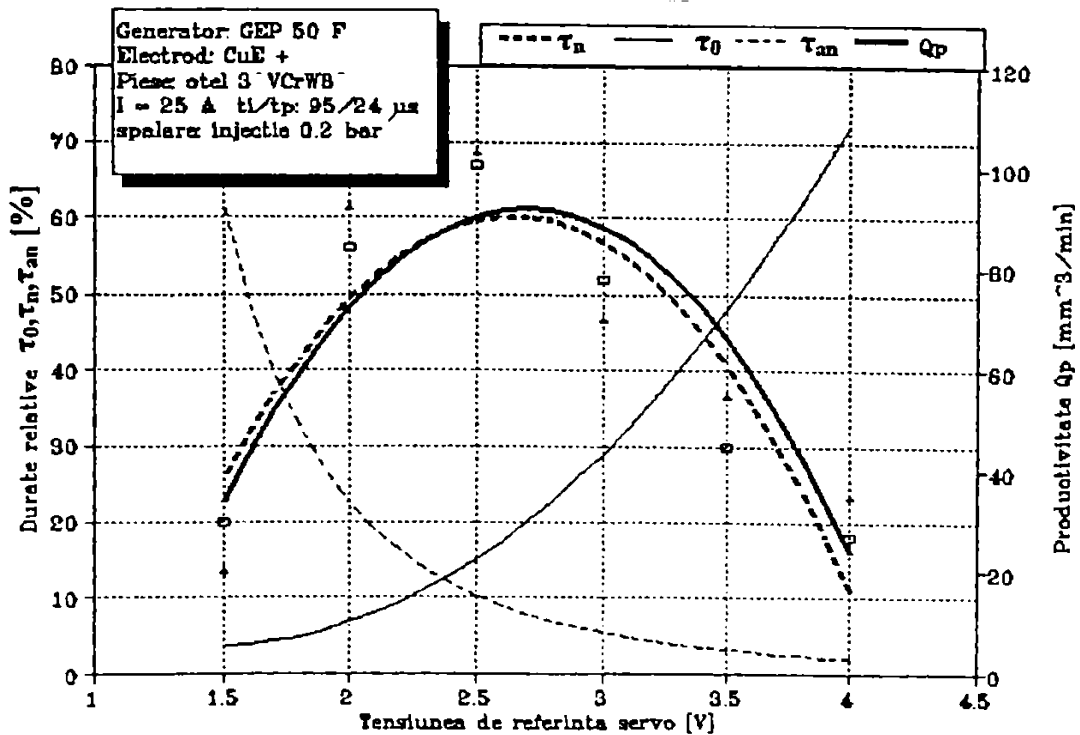
$$dg = (v - s) dt \quad (3.3.41)$$

in care: v – viteza momentana de prelevare; s - avansul momentan. Ambele viteze se considera constante pe durata dt , deci:

$$dg = k dt \quad (3.3.42)$$



a.



b.

Fig. 3.3.13 a,b. Dependentele duratelor relative ale impulsurilor si a productivitatii prelucrarii cu tensiunea de referinta servo.

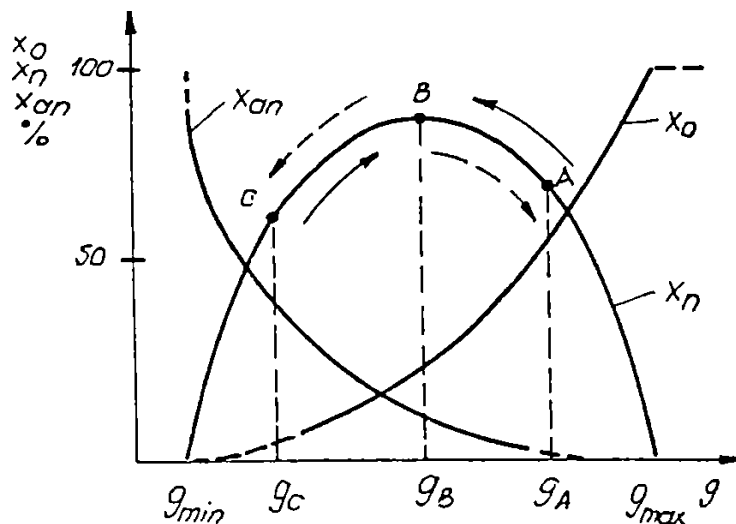


Fig.3.3.14. Dependenta parametrilor de stare ai procesului de grosimea interstitiului.

Deoarece dt este totdeauna pozitiv, semnul lui dg este dat exclusiv de semnul diferentialei ($v - s$).

Marimea supusa reglarii este avansul s . In acest scop este necesar sa se genereze un semnal de comanda care prin intermediul SRA sa asigure, in regim dinamic o valoarea optima a marimii interstitiului. Considerind evolutia interstitiului in domeniul (g_A, g_C), se

observa ca tranzitiile $g_A \rightarrow g_B$ si $g_C \rightarrow g_B$ produc convergenta interstitiului spre marimea optima - deci sunt urmasi ale unei actiuni utile, iar tranzitiile $g_B \rightarrow g_C$ si $g_B \rightarrow g_A$ sunt consecintele unor perturbatii care deplaseaza punctul de functionare fata de optim.

In concluzie:

- punctului de functionare optim (B) ii corespunde :

$$\frac{dx_n}{dg} = 0; \quad (3.3.43)$$

Aceasi valoare se obtine inasa si pentru orice punct corespunzator unui interstitiu in afara domeniului (g_{min}, g_{max});

- calculul derivatelor marimilor x_n, x_0, x_{an} in raport cu interstitiul, in regim ONLINE nu este oportun datorita dificultatii masurarii in proces a marimii interstitiului. Din acest motiv, se adopta derivarea in raport cu timpul t . Efectuand schimbarea de variabila in relatia (3.32), rezulta:

$$\frac{dx_n}{dg} = \frac{1}{k} \cdot \frac{dx_n}{dt} \quad (3.3.44)$$

Se observa ca intre x_n si g nu exista o dependenta biunivoca; este deci necesara folosirea a cel puțin inca unui parametru (x_0 sau/si x_{an}) pentru a realiza de-

pendenta biunivoca intre ansamblul parametrilor de reactie si marimea interstitiului. Trecand de la intervale infinit mici la intervale finite ($dt \rightarrow \Delta t$, $dg \rightarrow \Delta g$, etc.), se pot stabili dependentele dintre parametrii de reactie, interstitiu si timp. In tabelul 3.3.1 sunt prezentate dependentele intre parametrii de reactie, interstitiu si timp, corespunzind tranzitiilor din fig.3.3.14, in care pentru $t = t_0$ se considera $g = g_A, X_n = X_{nA}$ si $X_0 = X_{0A}$. Din tabel se observa o relatie biunivoca intre sensul actiunii umarite (avans) si semnul variabilei ajutatoare Y:

$$Y = \text{sign}\left(\frac{\Delta X_0}{\Delta t}\right) \cdot \frac{\Delta X_n}{\Delta t} \quad (3.3.45)$$

Tabelul 3.3.1. Dependetele parametrilor de reactie de marimea interstitiului

Nr. crt	Δt	g	Δg	ΔX_n	ΔX_0	Y	Actiune	Obs.
1.	$t_1 - t_0$	$g_A - g_B$	<0	>0	<0	<0	apropiere	$\Delta g = g_i - g_{i-1}$ $\Delta X_n = \sum X_{ni} - \sum X_{ni-1}$ $\Delta X_0 = \sum X_{0i} - \sum X_{0i-1}$ $v \neq s$
2.	$t_2 - t_1$	$g_B - g_C$	<0	<0	<0	>0	retragere	
3.	$t_3 - t_2$	$g_C - g_B$	>0	>0	>0	>0	retragere	
4.	$t_4 - t_3$	$g_B - g_A$	>0	<0	>0	<0	apropiere	
n.	$t_n - t_{n-1}$		=0	=0	=0	=0	stop?	$v = s$

Anularea valorii lui Y se produce la atingere valorii optime a interstitiului (util), dar si in unele cazuri particulare in care $v=s$ (linia n din tab.1). O asemenea situatie nu trebuie sa conduca la un semnal de comanda nul ci la stabilirea acestuia la o valoare data de expresia:

$$u_c = -k_1 \cdot Y + k_2 \cdot \sum_0^{\Delta t} X_0 - k_3 \cdot \sum_0^{\Delta t} X_{an} \quad (3.3.46)$$

in care: u_c - tensiune de comanda servo: >0 - avans; <0 - retragere; $\sum X_0$ - parametru de reactie activ in domeniul $g > g_{min}$ si care comanda apropierea electrozilor; $\sum X_{an}$ - parametru activ in domeniul $g < g_{max}$, care comanda indepartarea electrozilor in cazul producerii descarcarilor anormale in numar mare; Y - parametru care poate fi privit ca o marime de referinta adaptiva la evolutia procesului; k_1, k_2, k_3 - coeficienti de pondere.

3.4. Echipamentul de comanda extremala a avansului.

Pe baza consideratiilor teoretice, cu suport experimental prezentate la punctul 3.3.3.2 s-au realizat doua variante de sisteme de comanda extremala a avansului, implementate in variantele analogica si digitala. Pentru ambele variante s-a pus problema generarii unui semnal de comanda in concordanta cu relatia 3.46.

3.4.1. Implementarea analogica.

Implementarea analogica a comenzii extremale a avansului are la baza principiul si circuitele prezentate la cap.2 (fig.2.4.3) – dezvoltate pentru generarea suplimentara a semnalului de referinta Y (rel. 3.45). Schema bloc a sistemului realizat este prezentata in fig. 3.4.1.

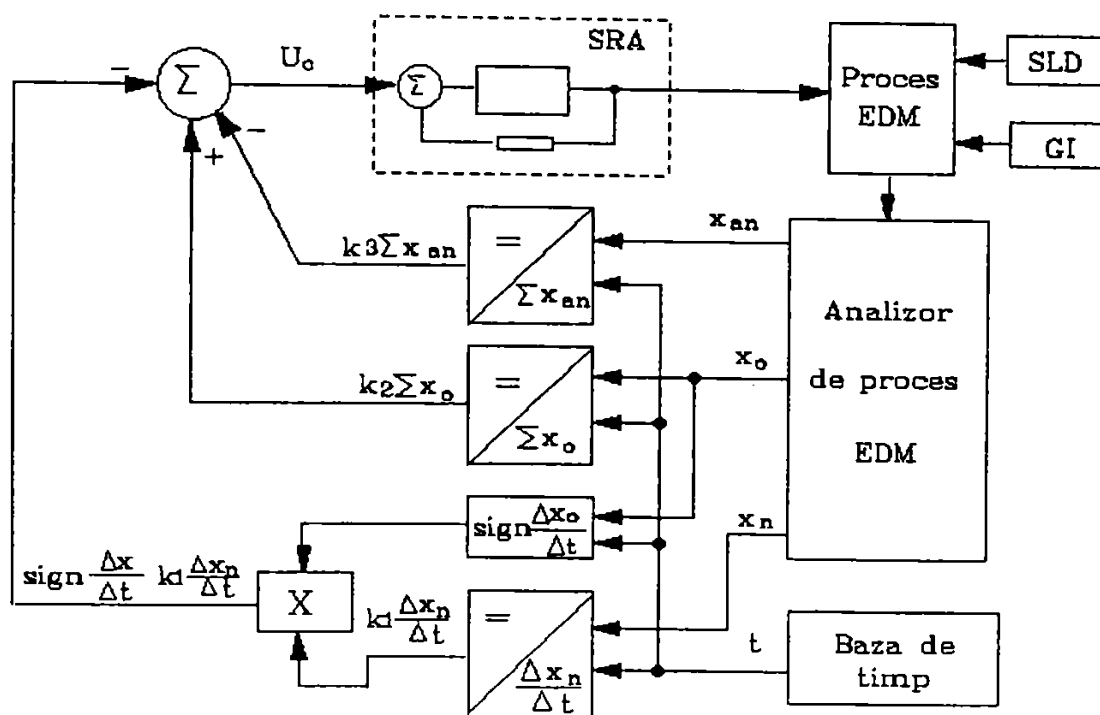


Fig.3.4.1. Schema bloc a sistemului de comanda extremala a avansului, in implementare analogica.

Semnalele x_0 , x_n , x_{an} de la iesirea analizorului de impulsuri EDM poarta informatii asupra impulsurilor din interstitiu prin duratele lor individuale. In con-

tinuare aceste impulsuri se prelucreaza, obtinandu-se sumele duratelor individuale pe o perioada de masurare Δt :

$$\sum_0^{\Delta t} X_0, \quad \sum_0^{\Delta t} X_n, \quad \sum_0^{\Delta t} X_{an}$$

Conversia acestor durate in nivele de tensiune, se realizeaza prin circuite de tipul celui prezentat in fig.2.4.3 (Cap.2, pct. 2.4.1).

Generarea semnalului Y, conform relatiei 3.45 implica efectuare unei succesiuni de operatii, prin intermediul circuitelor din fig. 3.4.2.a,b.

Astfel, pentru obtinerea termenului $\frac{\Delta x_n}{\Delta t}$ se parcurg urmatoarele etape:

1. - pe durata $\Delta t_i = t_i - t_{i-1}$ (semnalul CK = "0"), condensatorul C_1 se incarca cu impulsuri de curent constant I cu durate corespunzatoare duratelor semnalelor x_n – care deschid poarta de transmisie G_1 ; la sfarsitul perioadei de masurare – momentul t_i , in punctul M se va gasi o tensiune:

$$U_{M(x_n)_i} = \frac{I}{C_1} \cdot \sum_{t_{i-1}}^{t_i} x_n \quad (3.4.1)$$

2. - pe durata urmatoare $\Delta t_{i+1} = t_{i+1} - t_i$ se efectueaza urmatoarele:

- transferul tensiunii de pe condensatorul C_1 (pct. M) pe condensatorul C_2 (pct. H) si memorarea valorii acesteia pe durata a doua perioade ($\Delta t_{i+1} + \Delta t_{i+2}$) (transferul se executa prin poarta G_3 , comandata cu semnalul WR = "1", avand durata $t_{WR} \ll \Delta t$;
- descarcarea condensatorului C_1 prin poarta G_2 , comandata de semnalul CL= "1", cu durata $t_{CL} \ll \Delta t$;
- reluarea incarcarii condensatorului C_1 (cf.pct.1) pana la tensiunea:

$$U_{M(x_n)_{i+1}} = \frac{I}{C_1} \cdot \sum_{t_i}^{t_{i+1}} x_n \quad (3.4.2)$$

3. - transfer pe condensatoru C_2' (pct. H') unde va fi memorata pe duratele $\Delta t_{i+2} + \Delta t_{i+3}$, dupa care se repete actiunile de la pct. 2b si 2c. La sfarsitul intervalului Δt_{i+2} , pe C_1 se obtine:

$$U_{M(x_n)_{i+2}} = \frac{I}{C_1} \cdot \sum_{t_{i+1}}^{t_{i+2}} x_n \quad (3.4.3)$$

Ciclurile prezentate se repeta pe toata durata de functionare a echipamentului.

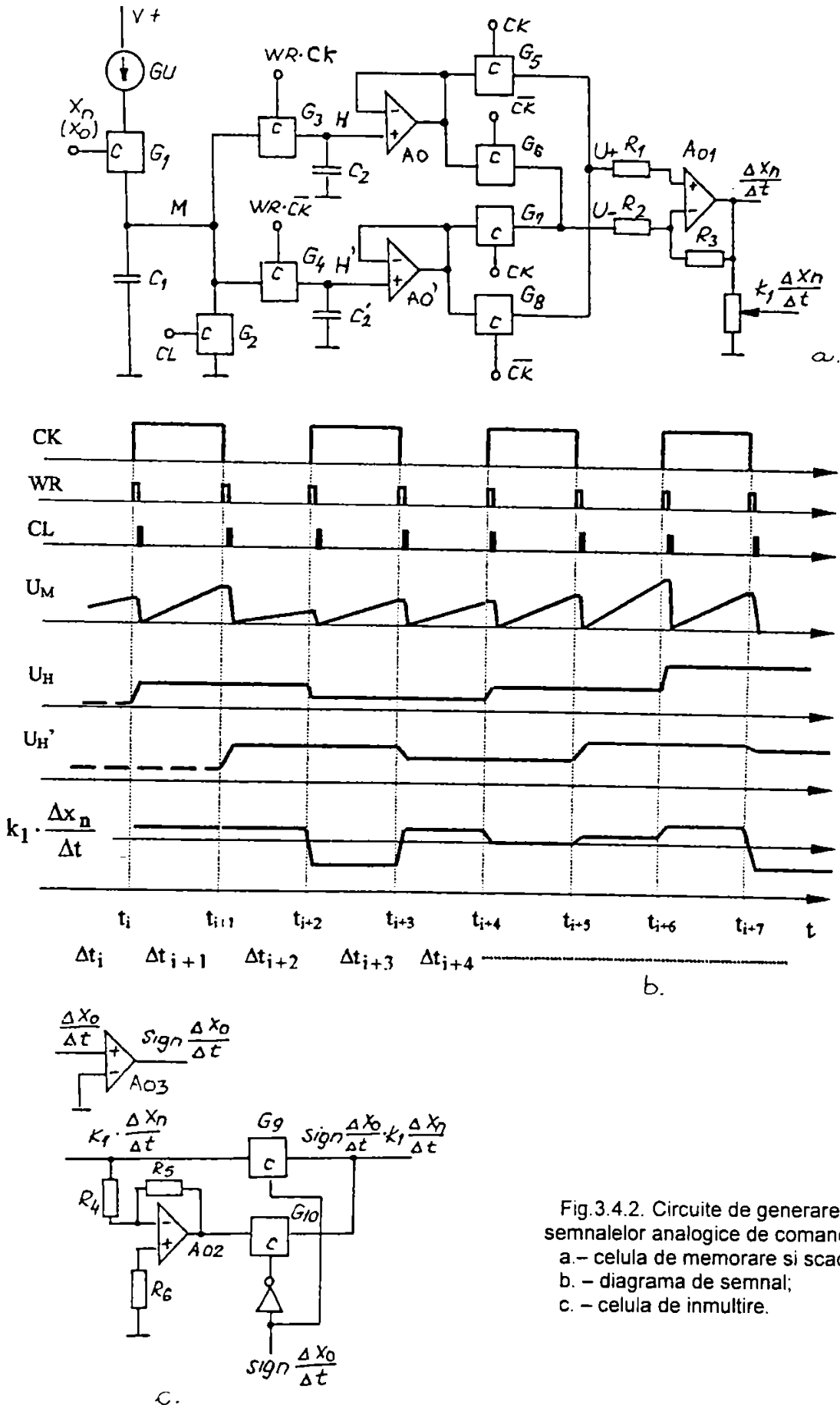


Fig.3.4.2. Circuite de generare a semnalelor analogice de comanda.
 a. - celula de memorare si scadere;
 b. - diagrama de semnal;
 c. - celula de inmultire.

Termenul diferenta $\frac{\Delta x_n}{\Delta t}$ se materializeaza la iesirea amplificatorului operational sumator AO1 printr-o tensiune proportionala cu diferenta tensiunilor aplicate la cele doua intrari, in fiecare interval Δt :

$$U\left(\frac{\Delta x_n}{\Delta t}\right) = K(U_+ - U_-) \quad (3.4.4)$$

Amplificatoarele AO si AO' sunt repetoare de tensiune (cu factor de amplificare unitar), prin urmare la iesirile lor se regasesc tensiunile U_H si $U_{H'}$ (din punctele H si H'). In fiecare interval, aceste tensiuni sunt comutate alternat pe intrarile neinverse si inverse ale amplificatorului AO1, la iesirea acestuia rezultand diferenta (amplificata de cca. 5 ori) dintre valoarea curenta si cea anterioara a tensiunii $U_M(x_n)$. In diagrama de functionare – fig.3.4.2.b se poate urmari efectul succesiunilor conversiilor semnalelor U_H si $U_{H'}$ in U_+ si U_- , prin intermediul portilor $G_5...G_8$, comandate de semnalele CK si \overline{CK} .

Semnalul $\frac{\Delta x_0}{\Delta t}$ se genereaza printr-un circuit identic cu cel prezentat mai sus, iar pentru determinarea semnelui acestui semnal se foloseste circuitul comparator realizat cu AO3. Semnalul logic $sign \frac{\Delta x_0}{\Delta t}$ conditioneaza transmiterea mai departe asemnalului corespunzator termenului $k_1 \frac{\Delta x_n}{\Delta t}$ direct (prin poarta G_9) sau dupa inversarea de polaritate (circuitul inversor AO2), prin poarta G_{10} .

Valorile coeficientilor de pondere k_1, k_2, k_3 se prescriu prin potentiometrele din schema; pentru prescriere se au in vedere urmatoarele:

- in cazurile limita – mers in gol, respectiv in scurtcircuit, duratele relative:

$$\Sigma X_0 = 100\% \quad \text{si} \quad \Sigma X_{an} = 100\%;$$

Corespunzator:

$$k_2 = \frac{U_{cmax}}{u_{x_0}(100\%)} \quad \text{si} \quad k_3 = \frac{U_{cmax}}{u_{x_{an}}(100\%)} \quad (3.4.5)$$

unde: U_{cmax} este valoarea maxima a tensiunii de comanda a sistemului de avans; $u_{x_0}(100\%)$ si $u_{x_{an}}(100\%)$ sunt valorile de tensiune corespunzatoare pentru cazurile limita de mai sus.

- pentru coeficientul k_1 a carui valoare conditioneaza avansul pe durata de existenta a descarcarilor normale nu se poate adopta aprioric o valoare numerica; acesta se va determina prin cercetari experimentale privind parametrii sistemului de avans realizat.

3.4.2. Implementarea numerica.

Implementarea numerica a echipamentului de comanda extremala a avansului s-a facut in doua variante, si anume:

- prima varianta are la baza sistemul de calcul al eficientei prelucrarii, prezentat in subcapitolul 2.4.2, completat cu un convertor digital-analogic (CAN) bipolar, realizat cu un circuit MC8BS si un amplificator operational $\mu A741$ (fig.3.4.3). Pentru comanda CAN se foloseste un port pe 8 biti tip 8212, conectat la magistrala de date a calculatorului si setat pentru transfer de date de la magistrala la convertor.
- a doua varianta, imbunatatita, s-a realizat cu un calculator PC 386 echipat cu o interfata industriala de proces ADA 1110, a carei schema bloc este prezentata in fig.3.4.4 [153].

Prin utilizarea acestui produs de firma se simplifica structura hard a sistemului de comanda, avand in vedere faptul ca in structura interfetei se regasesc blocurile utilizate la prima varianta.

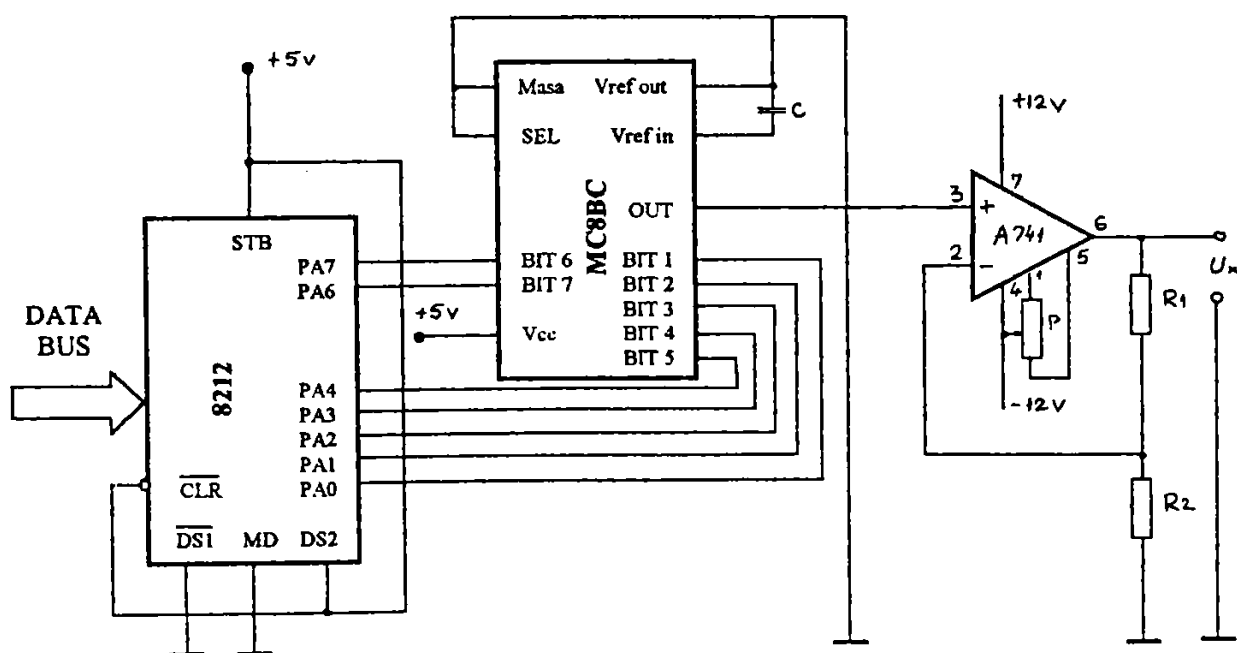


Fig.3.4.3. Schema convertorului digital analogic atasat sistemului de calcul.

- un circuit timer programabil 8254 cu trei canale pe 16 biti care poate efectua numararea impulsurilor aplicate pe cele 3 intrari sau inregistrarea duratelor relative ale acestora. Continutul numaratoarelor este citit periodic dupa o durata de masurare t stabilita prin program si informatia este prelucrata de catre unitatea centrala a PC.

- un CAN pe 12 biti la intrarea caruia se aplica sub forma binara rezultatul calculelor efectuate si la iesire se obtine un semnal continuu bipolar, in domeniul ± 5 V.

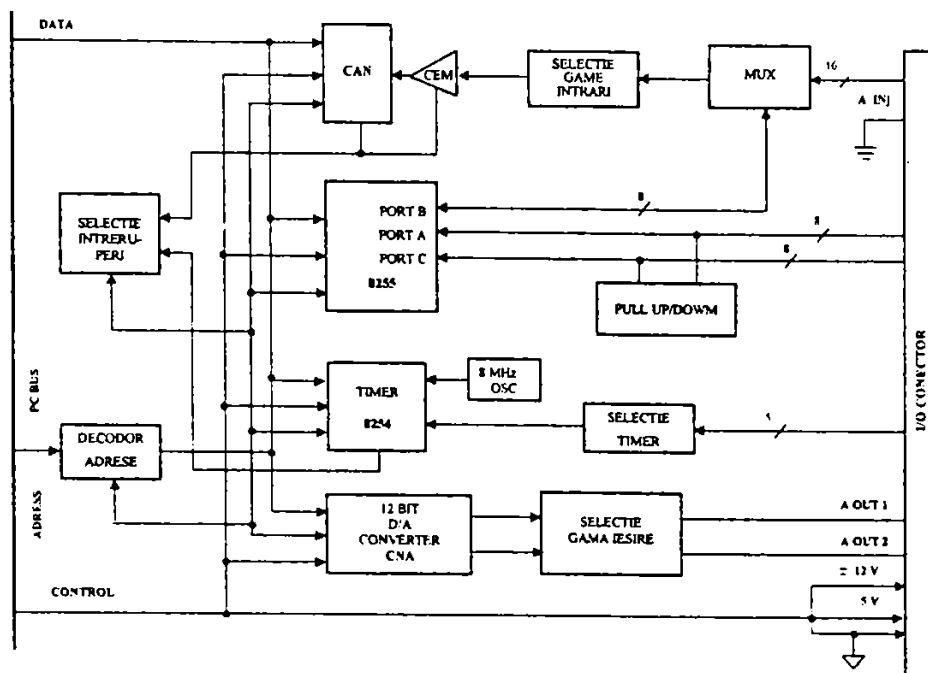


Fig.3.4.4. Schema interfeței de proces ADA 1110.

In aceasta varianta, duratele semnalelor individuale x_0, x_n, x_{an} de la iesirea analizorului sunt convertite in numar de impulsuri, printr-un circuit poarta (fig.3.4.5) (v. pct. 2.4.2 – fig. 2.4.4) pe care se aplica si semnalul x_{BT} cu frecventa f_{BT} , generat de o baza de timp. Semnalele n_0, n_n, n_{an} sunt aplicate pe intrarile numaratoarelor din circuitul 8254, in care se regasesc, dupa un timp de masurare Δt , duratele relative $\tau_0, \tau_n, \tau_{an}$. Continutul maxim al unui numarator n_{max} este dat de frecventa bazei de timp si de durata masurarii; pentru $f_{BT}=10^6$ Hz si $\Delta t = 10^{-2}$ s :

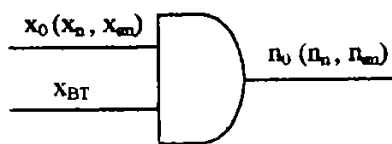


Fig.3.4.5. Circuitul poarta SI

$$n_{max} = f_{BT} \Delta t = 10^4 \quad (3.4.6)$$

Inlocuind in relatia 3.3.46 $\sum x_0, \sum x_n, \sum x_{an}$ cu n_0, n_n, n_{an} se obtine:

$$N = -k_1 Y + k_2 n_0 - k_3 n_{an} \quad (3.4.7)$$

Tensiunea de comanda u_c se genereaza prin conversia D/A a numarului N :

$$u_c = K N \text{ [V]} \quad (3.4.8)$$

unde $K = u_{c \text{ max}} / n_{\text{ max}}$ este constanta de conversie; practic, pentru valorile adoptate, $K = 5 \cdot 10^{-4} \text{ V}$.

Schema bloc a standului experimental echipat cu sistemul de comanda cu calculator PC este prezentata in fig. 3.4.6. Semnalul generat de echipamentul de comanda este amplificat in putere si constituie semnalul de comanda care se aplica servovalvei electrohidraulice a masinii ELER 01.

Implementarea numerica ofera si posibilitatea afisarii / tiparii valorilor coeficientilor de eficienta si a tensiunii de comanda a SRA; Pentru o urmarire vizuala usoara si pentru a nu incarca calculatorul cu comenzi pentru afisare (ceea ce conduce la intarzieri nedorite in prelucrarea semnalelor din proces), perioada de afisare a rezultatelor T_{tip} se alege un multiplu al perioadei de masurare Δt :

$$T_{tip} = K_{tip} \Delta t \quad (3.4.9)$$

Marimile afisate/tiparite reprezinta valori medii ale duratelor relative pentru o perioada de afisare T_{tip} .

Schema logica de conducere a avansului este prezentata in fig. 3.4.7.

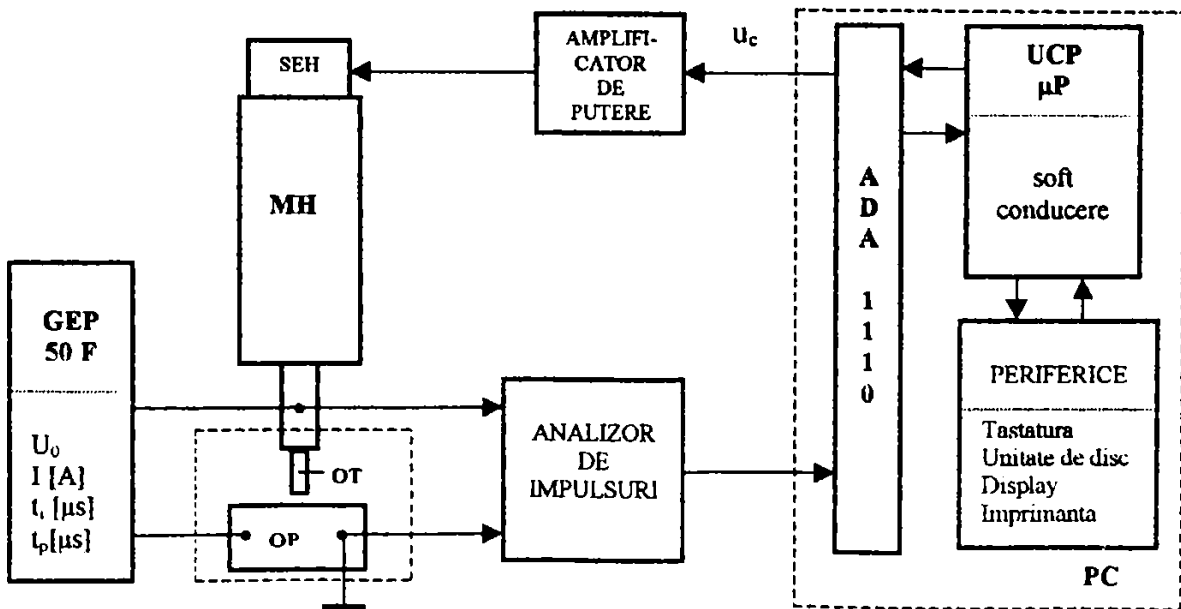


Fig. 3.4.6. Sistemul de comanda a avansului cu calculator PC 386

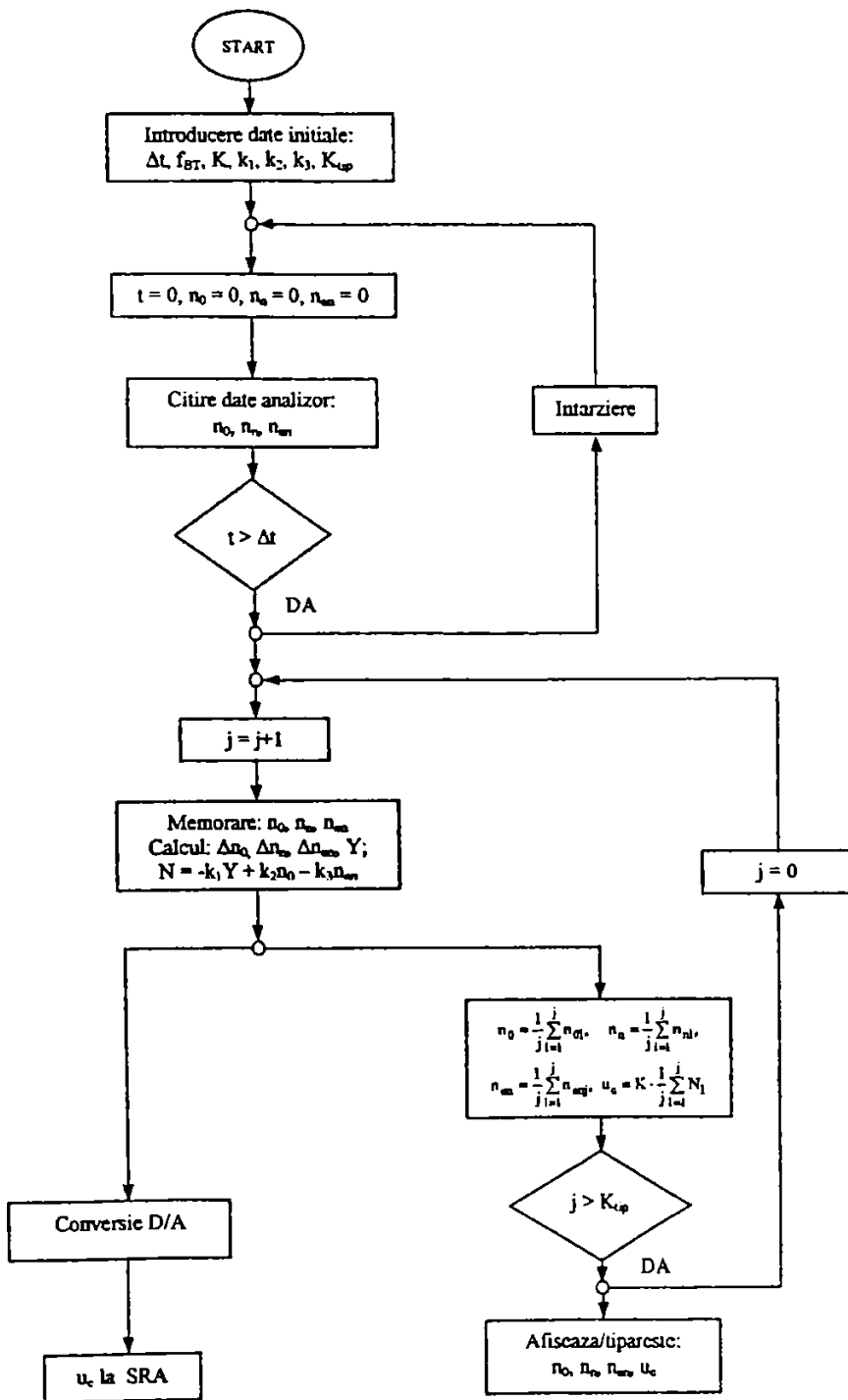


Fig.3.4.7. Schema logica de comanda a sistemului de avans extremal.

3.5. Cercetari tehnologice.

Cercetarile efectuate asupra SRA extremal au urmarit doua aspecte:

1. Stabilirea valorilor parametrilor de prescriere ai SRA;
2. Validarea conceptiei sistemului de comanda extremala prin intermediul caracteristicilor tehnologice, comparativ cu utilizarea SRA original al masinii ELER 01.

3.5.1. Stabilirea valorilor parametrilor prescrisi.

Parametrii de reglare ai SRA, necesari a fi prescrisi OFF-LINE sunt:

1. durata de masurare (esantionare) Δt ,
2. coeficientii de pondere ai termenilor expresiei tensiunii de comanda u_c : k_1, k_2, k_3 (rel. 3.3.46).

Durata de masurare (insumare) a semnalelor x_0, x_n, x_{an} se stabileste in functie de duratele t_i si t_p ale impulsurilor, deci de caracteristicile constructive ale generatorului de impulsuri. Conditia initiala este ca pe durata Δt sa poata fi insumate unui numar cat mai mare de impulsuri, deci:

$$\Delta t \gg T \quad (T = t_i + t_p - \text{perioada de repetitie a impulsurilor}).$$

Caracteristicile generatorului de impulsuri GEP 50F sunt prezentate in tabelul 3.5.1; pentru stabilirea duratei maxime a perioadei T s-au facut urmatoarele consideratii:

- Impulsurile cu durate $t_i > 1000 \mu s$ se folosesc in mod obisnuit, din motive tehnologice;
- Durata pauzei se coreleaza cu durata impulsului prin coeficientul de umplere al impulsului de curent: $K_i = t_i / T = 0.5 \dots 0.9$, valorile maxime corespunzand valorilor maxime ale t_i ;
- Pentru valorile maxime adoptate, perioada maxima de repetitie a impulsurilor este:

$$T = \frac{t_i}{K_i} = \frac{900 \cdot 10^{-6}}{0.9} = 10^{-3} \text{ (s)}$$

Se adopta $\Delta t = 10 T = 10^{-2}$ s, ceea ce conduce, in acest caz extrem la masurarea a cca. 10 impulsuri.

Tabelul 3.5.1. Caracteristicile generatorului GEP 50F

Tip: izopuls			Curent in impuls				Treapta							
Tensiune de mers in gol $U_0 = 85$ V							[A]							
Durate impuls	Pozitie	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
		[μs]	2.5	4	6	8	12	24	48	95	190	420	900	1800

Observatii: 1 – Nu s-au luat in calcul duratele de intarziere la amorsare ale impulsurilor normale, a caror prezenta conduce la cresterea perioadei T ;

2. – Pentru regimurile de prelucrare uzuale, cu durate $t_i \ll 100 \mu s$, numarul impulsurilor masurate pe durata t creste foarte mult.

Sistemul de comanda extremala implementat pe masina ELER 01 trebuie sa furnizeze pentru comanda servovalvei electrohidraulice un semnal cu urmatorii parametri :

$$u_{c \max} = \pm 5 V \quad \text{si} \quad i_{c \max} = \pm 20 \text{ mA}$$

Pentru generarea analogica a acestui semnal, circuitele din fig. 3.4.2 s-au reglat astfel incat pentru durata de masurare adoptata sa fie indeplinita conditia:

$$u_{x_0}(100\%) = u_{x_n}(100\%) = u_{x_{sn}}(100\%) = 5 V$$

In aceste conditii, cu relatiile 3.4.5 se obtin:

$$k_2 = k_3 = 1$$

Valoarea coeficientului k_1 al termenului adaptiv din expresia tensiunii de comanda s-a determinat in urma echiparii masinii ELER 01 cu sistemul de comanda extremala, efectuand prelucrari experimentale in regimuri de degrosare, semifinisare si finisare, urmarindu-se variatiile coeficientilor de eficienta a prelucrarii cu marea prescrisa a coeficientului k_1 . In prima faza s-au determinat limitele domeniului de variatie a coeficientului k_1 , pe baza rezultatelor prezentate in fig. 3.5.1 a,b,c. Din analiza acestora se se desprind urmatoarele concluzii:

- Valoarea optima a coeficientului k_1 , stabilit pentru valoarea maxima a functiei $\tau_n(k_1)$ este dependenta de regimul de prelucrare (I, t_i, t_p);
- In vecinatatea maximului, panta $d\tau_n/dk_1$ este mica, deci prescrierea valorii coeficientului k_1 nu este critica; astfel:

$$\begin{aligned} k_{1F} &= 1 \dots 1,75 && \text{pentru finisare (fig.3.5.1.a);} \\ k_{1SF} &= 1,25 \dots 1,75 && \text{pentru semifinisare (fig.3.5.1.b);} \\ k_{1D} &= 1,75 \dots 2,2 && \text{pentru degrosare (fig.3.5.1.c).} \end{aligned}$$

Pentru stabilirea modelului matematic al functiei $\tau_n = f(k_1, I)$ s-a realizat un experiment activ factorial 3^2 . Nivelele factorilor independenti sunt prezentate in tabelul 3.5.2, iar programul experimental, in tabelul 3.5.3.

Tabelul 3.5.2. Nivelele factorilor

Factori			
Cod		x1	x2
Simbol		$k_1 [-]$	$I [A]$
Nivele	+	2.5	50
	0	1.5	12
	-	0.5	3

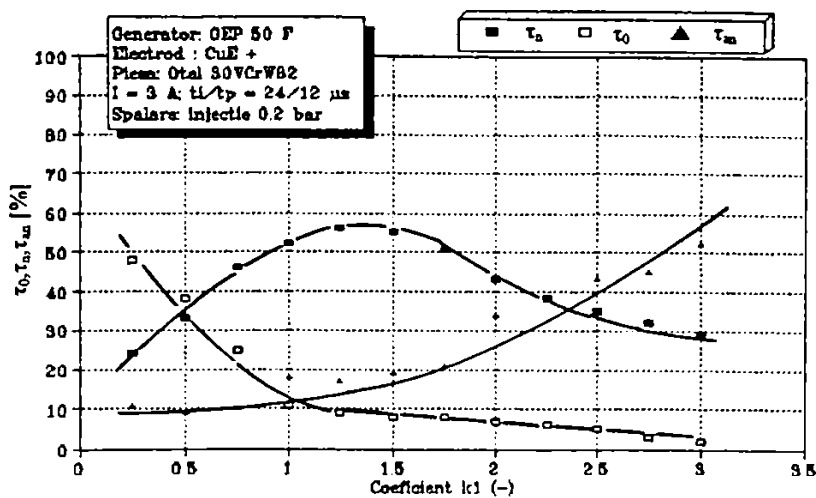
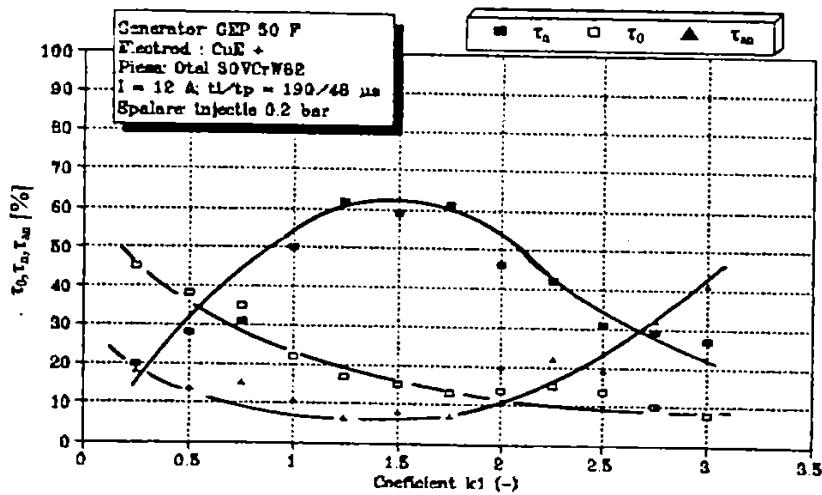
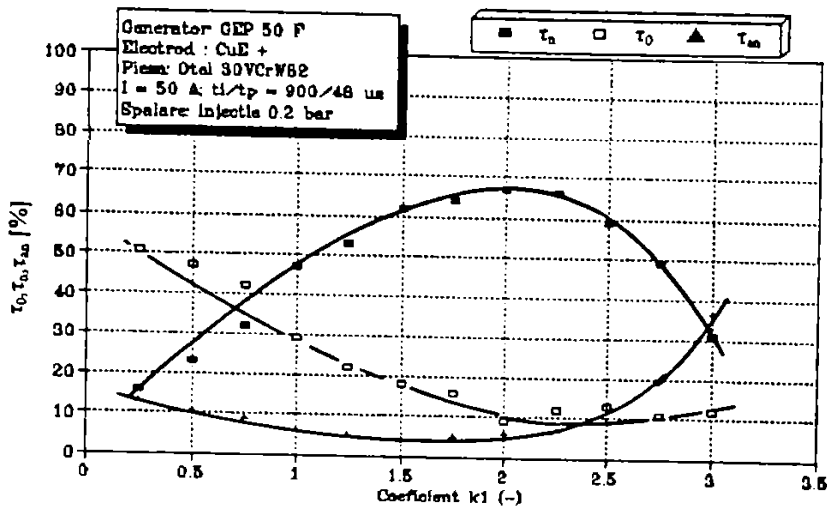


Fig.3.5.1. Variatia coeficientului de eficienta a prelucrării cu coeficientul k_1 pentru prelucrări de degrosare (a), semifinisare (b) și finisare (c).

Tabelul 3.5.3. Experiment factorial 3^2

Nr. crt.	Nr. ord. exper.	Nivele factori			Functia de raspuns τ_n		
		x0	x1	x2	replica 1	replica 2	replica 3
1	7	+	+	+	36	32	33
2	3	+	+	0	31	29	34
3	1	+	+	-	11	15	14
4	8	+	0	+	47	43	44
5	5	+	0	0	74	72	69
6	2	+	0	-	58	59	62
7	4	+	-	+	6	6	5
8	9	+	-	0	46	40	42
9	6	+	-	-	32	29	36

In urma desfasurarii experientelor si a prelucrarii rezultatelor prin pachetul de programe STATGRAPHICS a rezultat urmatorul model matematic:

$$\tau_n = 2.613 + 63.212 \cdot k_1 + 1.548 \cdot I - 25.03 \cdot k_1^2 - 0.045 \cdot I^2 + 0.52 \cdot k_1 \cdot I \quad (3.5.1)$$

Suprafata de raspuns si curbele de nivel constant ale functiei (3.5.1) sunt prezentate in fig.3.5.2 a,b.

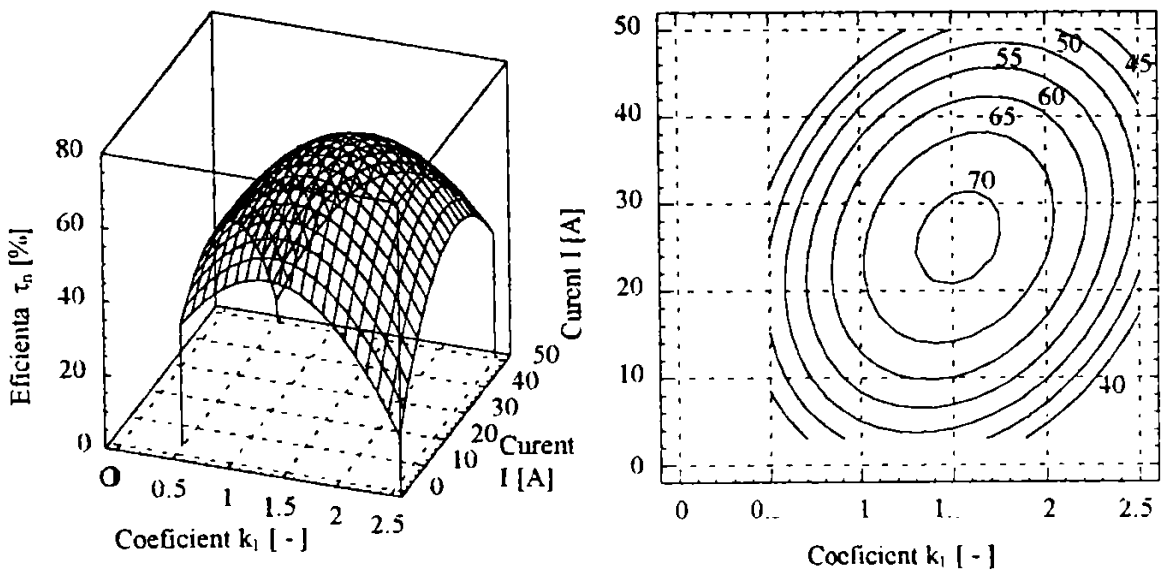


Fig.3.5.2. Variatia coeficientului de eficienta a prelucrării $\tau_n(k_1, I)$; a.- suprafata de raspuns; b.- curbele $\tau_n = \text{constant}$.

Valoarea optima pentru k_1 corespunde valorii maxime a coeficientului de eficienta:

$$\frac{d\tau_n}{dk_1} = 0 \quad (3.5.2)$$

Numeric rezulta:

$$63.212 + 0.52 \cdot I - 2 \cdot 25.03 \cdot k_1 = 0; \text{ respectiv: } k_1 = 1.263 + 0.01 \cdot I \quad (3.5.3; 3.5.4)$$

Grafic, relatia (3.5.4) reprezinta o nomograma (fig.3.5.3) care permite prescrierea valorii coeficientului k_1 functie de regimul energetic de prelucrare.

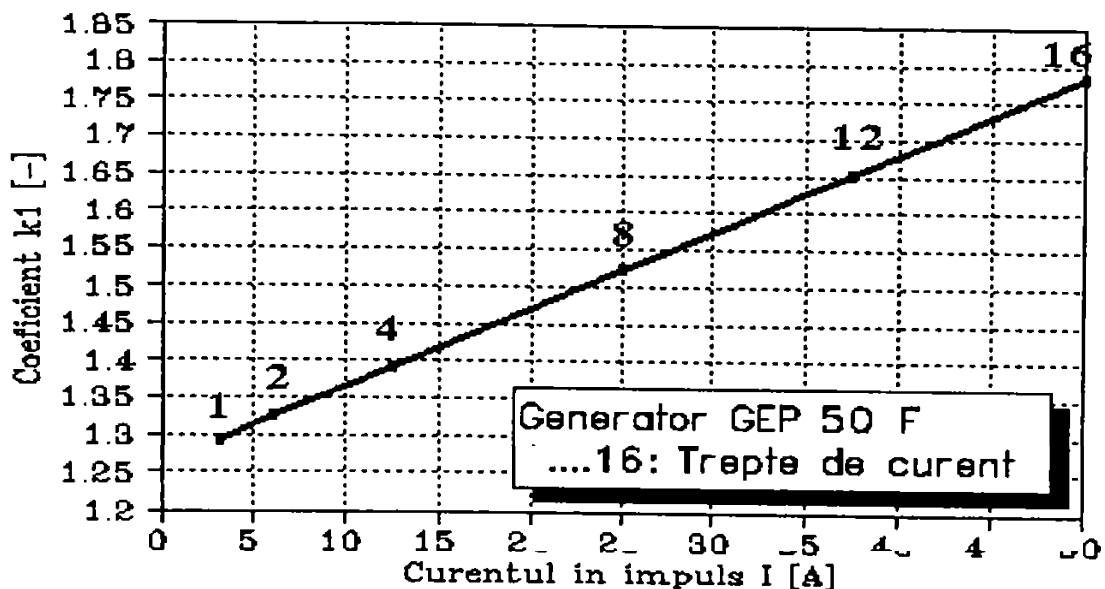


Fig.3.5.3. Valoarea optima a coeficientului k_1 functie de treapta de curent I.

3.5.2. Rezultate experimentale.

Validarea concepiei si realizarii sistemului de comanda extremala a avansului s-a facut prin determinarea valorilor productivitatii prelucrarii si a uzurii volumice relative rezultate in urma unor prelucrari experimentale pe masina ELER 01, utilizand electrozi din cupru si piese din otel. Parametrii prescrisi ai regimului de prelucrare au fost:

- - treptele de curent : 6, 12, 25, 50 A;
- - duratele de impuls: 4...900 μ s;

- - regim de circulatie a dielectricului: injectie continua prin electrod, $p = 0.2$ bar;
- - prescriere SRA: conform nomogramei din fig. 3.5.3.

Prelucrarile s-au efectuat in trei etape:

1. in configuratia initiala a SRA de pe masina ELER 01 – pentru stabilirea unor valori de referinta ale caracteristicilor tehnologice;
2. cu SRA comandat prin sistemul extremal analogic, conform schemei din fig. 3.4.1;
3. cu SRA comandat prin sistemul extremal digital, dupa schema din fig. 3.4.6.

Rezultatele tehnologice sunt prezentate in graficele din fig. 3.5.4 a,b,c,d – pentru varianta analogica, respectiv fig.3.5.5 a,b,c,d - pentru varianta digitala. Raporturile dintre valorile medii si extreme ale caracteristicilor tehnologice obtinute sunt prezentate tabelul 3.

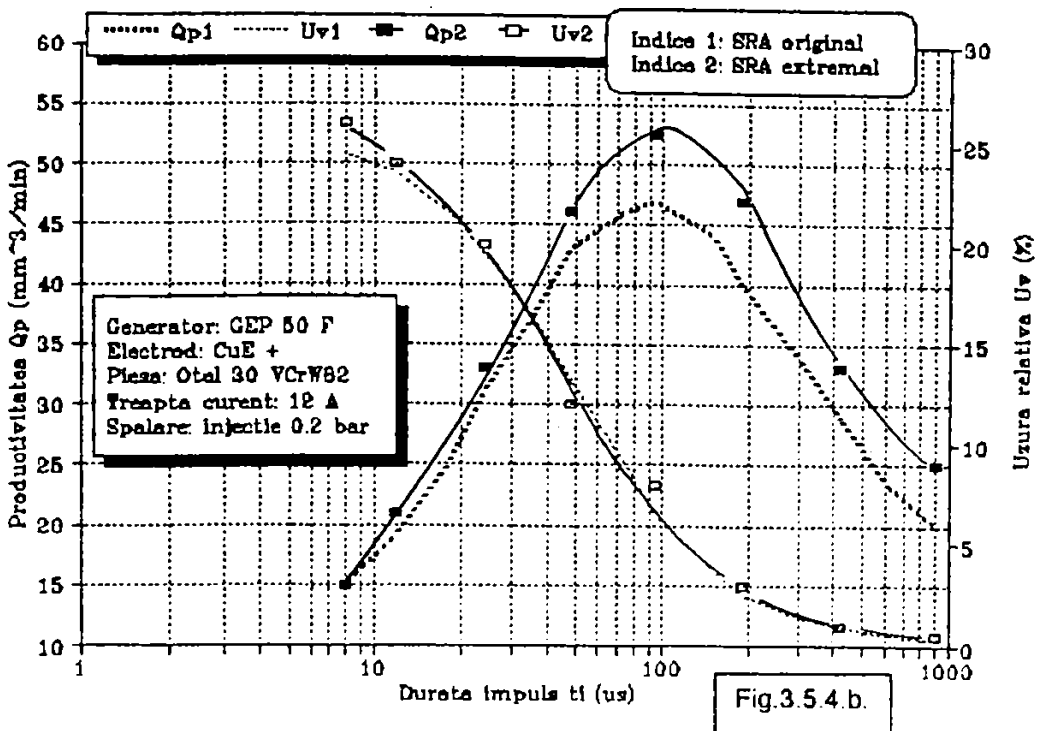
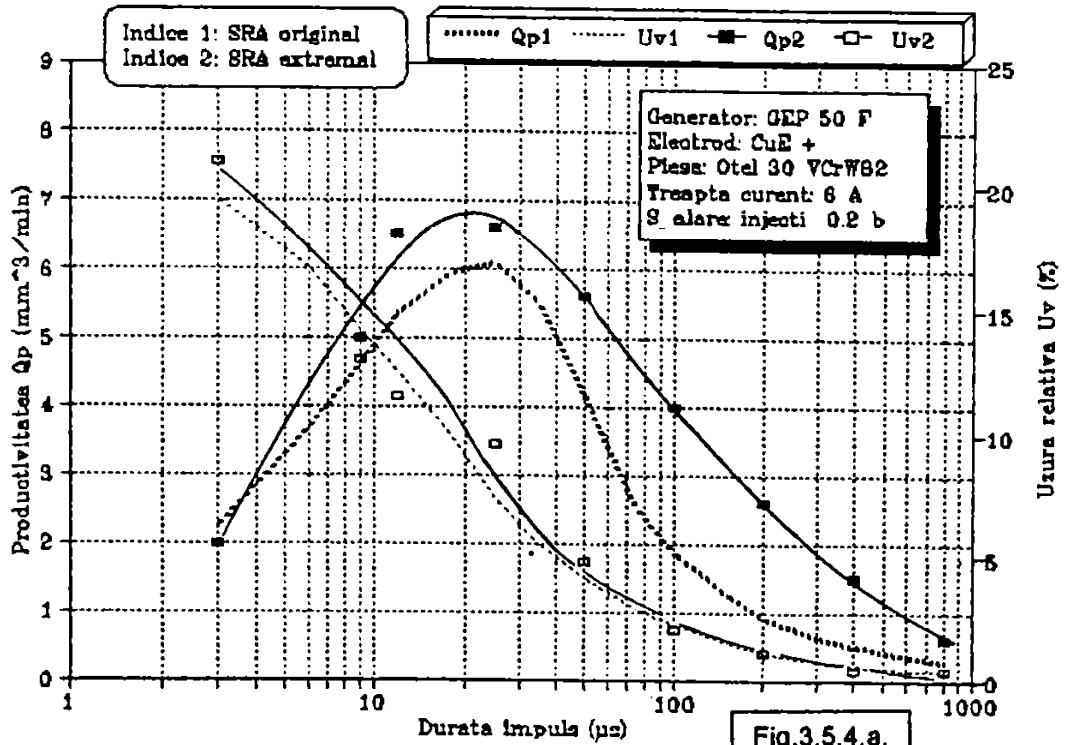
Prezenta calculatorului la varianta digitala permite evidentierea unor aspecte calitative ale procesului de reglare a avansului, prin inregistrarea valorilor unor parametri semnificativi – τ_n (τ_0 , τ_{an}), u_c . Evolutia procesului pe durata regimurilor tranzitorii din momentele de inceput al prelucrarii este prezentata in fig. 3.5.6 a, iar pentru faza stabila, in fig. 3.5.6, b,c.

Tabelul 3.5.4. Raportul productivitatii si uzurii in cazul SRA extremal

Regim	Q_{p2}/Q_{p1}				u_{v2}/u_{v1}			
	Analogic		Digital		Analogic		Digital	
	Mediu	Extrem	Mediu	Extrem	Mediu	Extrem	Mediu	Extrem
6 A	1.273	1.86	1.457	1.75	1.062	1.12	0.942	0.75
12 A	1.110	1.13	1.143	1.19	1.045	1.08	1.048	1.18
25 A	1.078	1.15	1.197	1.35	0.964	0.88	0.803	0.72
50 A	1.174	1.23	1.227	1.41	0.937	0.75	0.838	0.71

Concluzii:

1. Implementarea SRA extremal pe masina ELER 01 conduce la cresterea semnificativa a productivitatii prelucrarii - in medie cu 10...45 %; pentru anumite regimuri de prelucrare particulare, cresterile pot atinge 75...85 %. Pentru uzura relativa a electrodului nu s-au evidentiat influente semnificative.
2. Intre cele doua variante de implementare (analogic si digital) nu au rezultat diferente semnificative sub aspectul valorilor caracteristicilor tehnologice.
3. Luand in considerare raportul pret / performanta, pentru masinile de eroziune electrica cu electrod masiv care nu sunt comandate cu calculatoare, se recomanda implementarea analogica a SRA extremal.



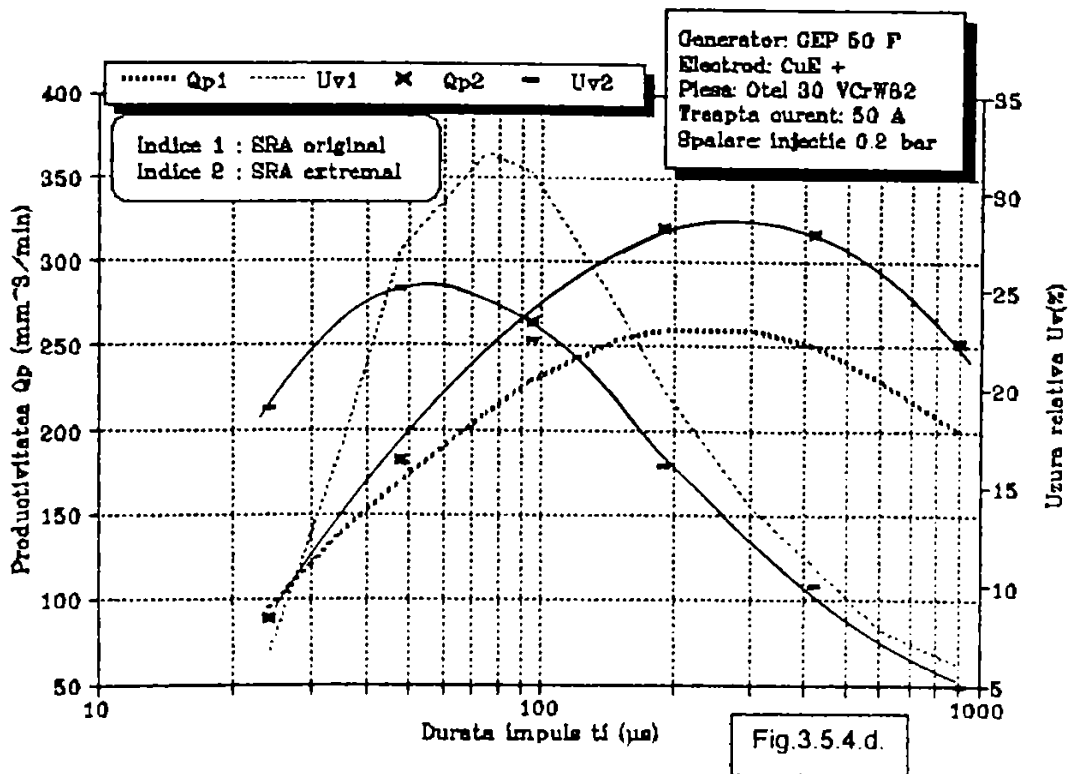
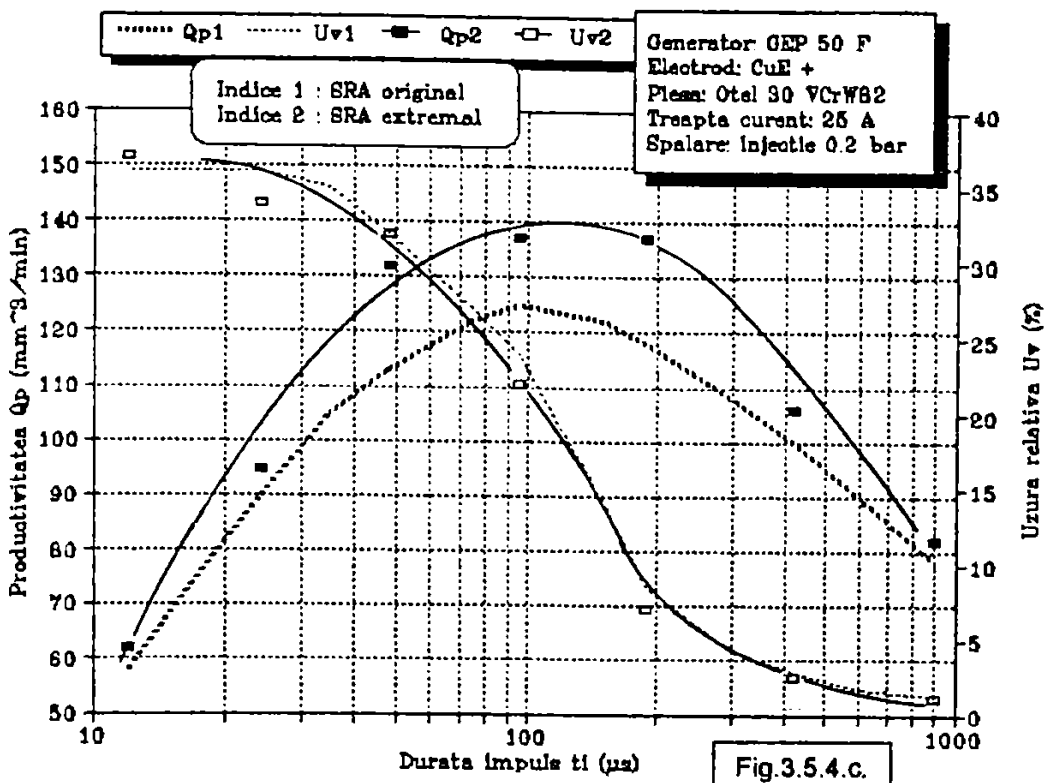
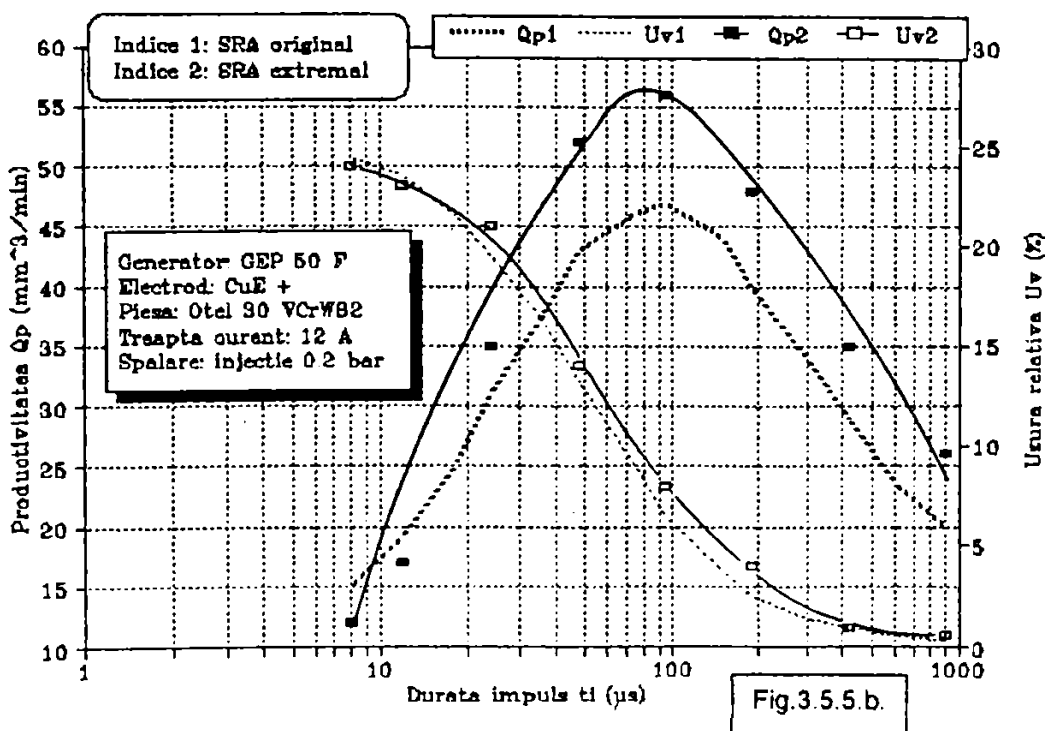
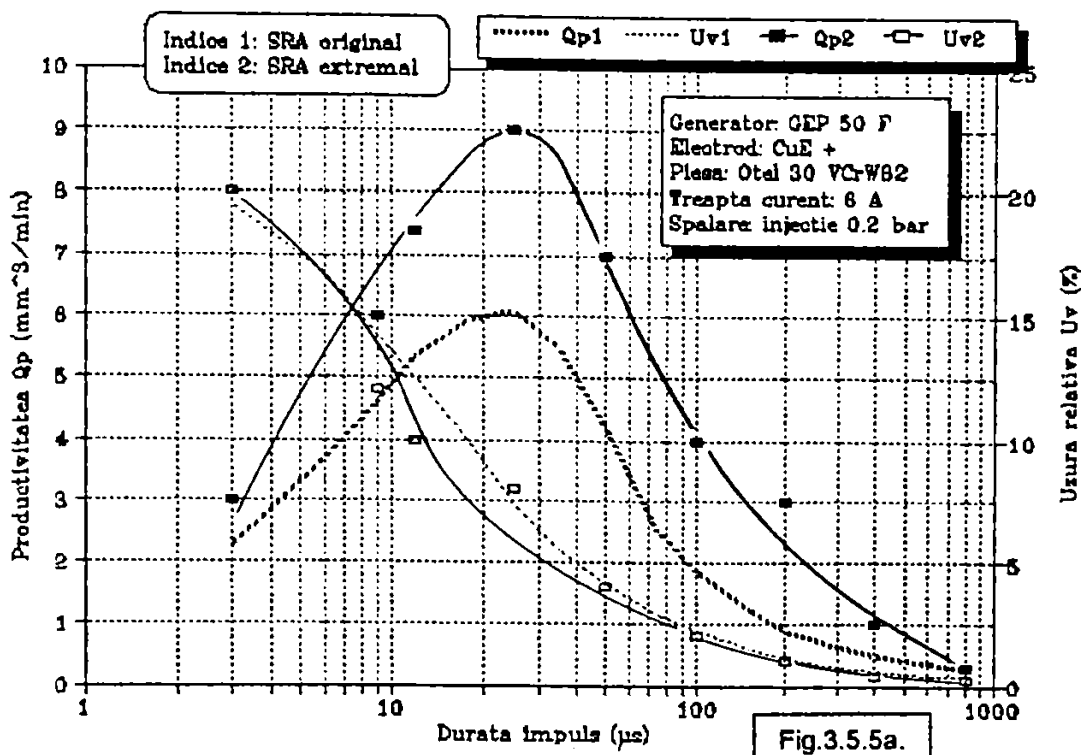


Fig. 3.5.4 a,b,c,d. Variatia caracteristicilor tehnologice la prelucrarea electroeroziva pe masina ELER 01, echipata cu sistemul de avans extremal analogic.



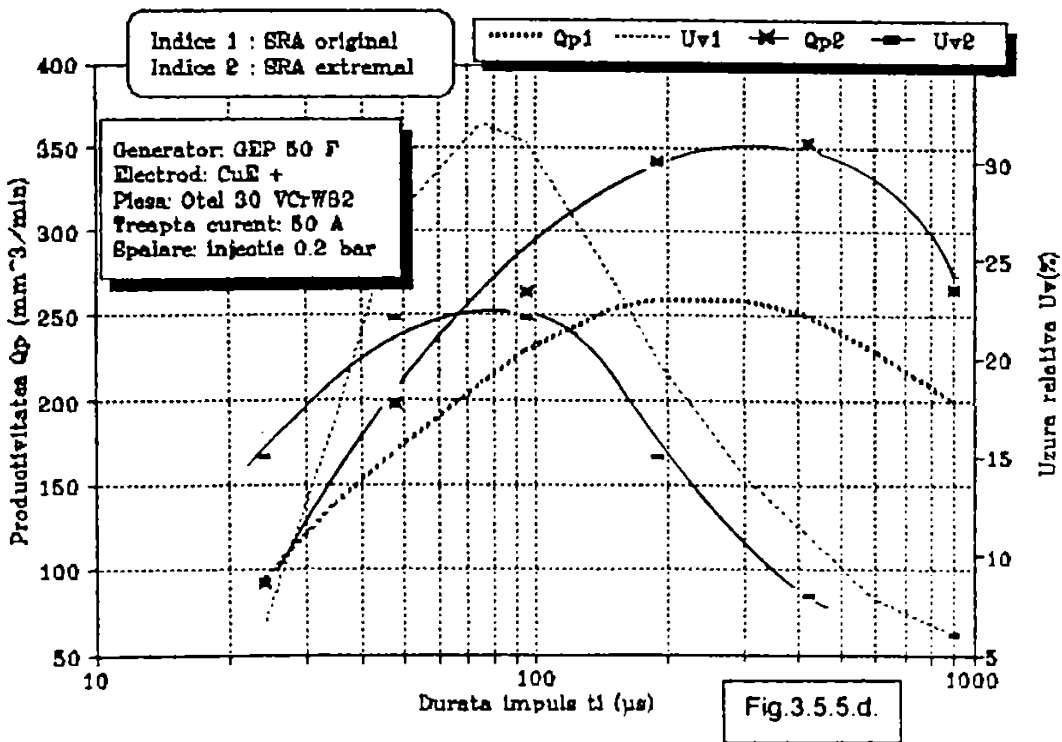
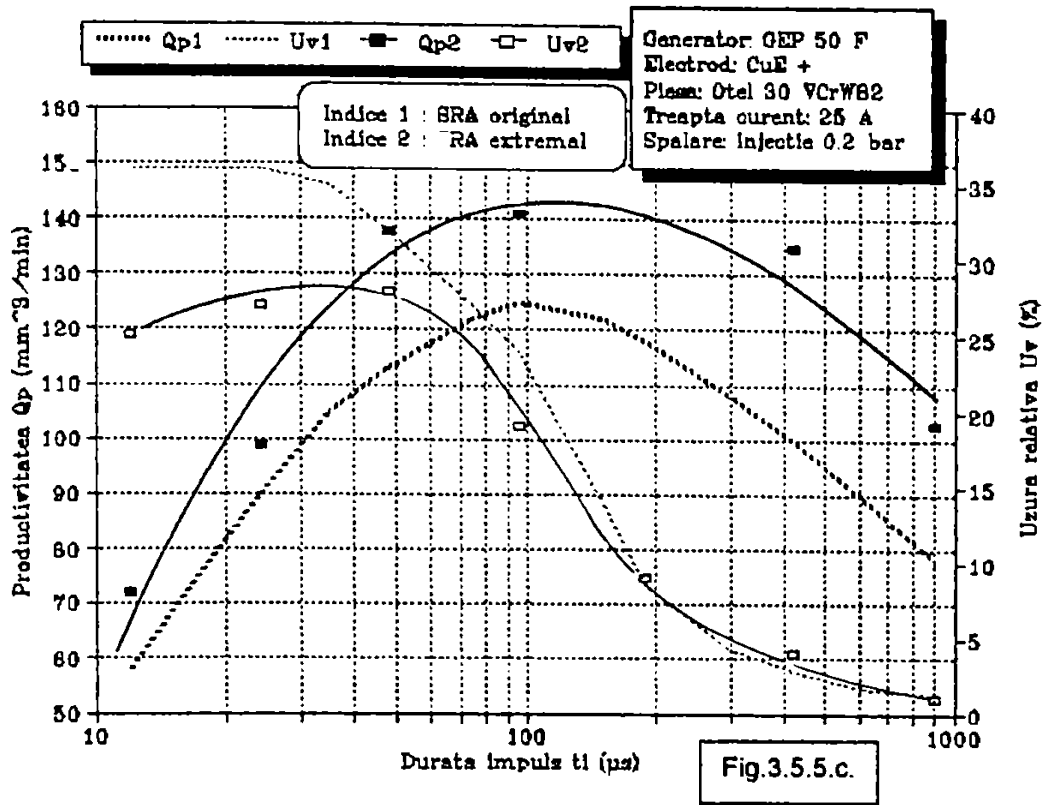


Fig. 3.5.5 a,b,c,d. Variatia caracteristicilor tehnologice la prelucrarea electroeroziva pe masina ELER 01, echipata cu sistemul de avans extremal digital.

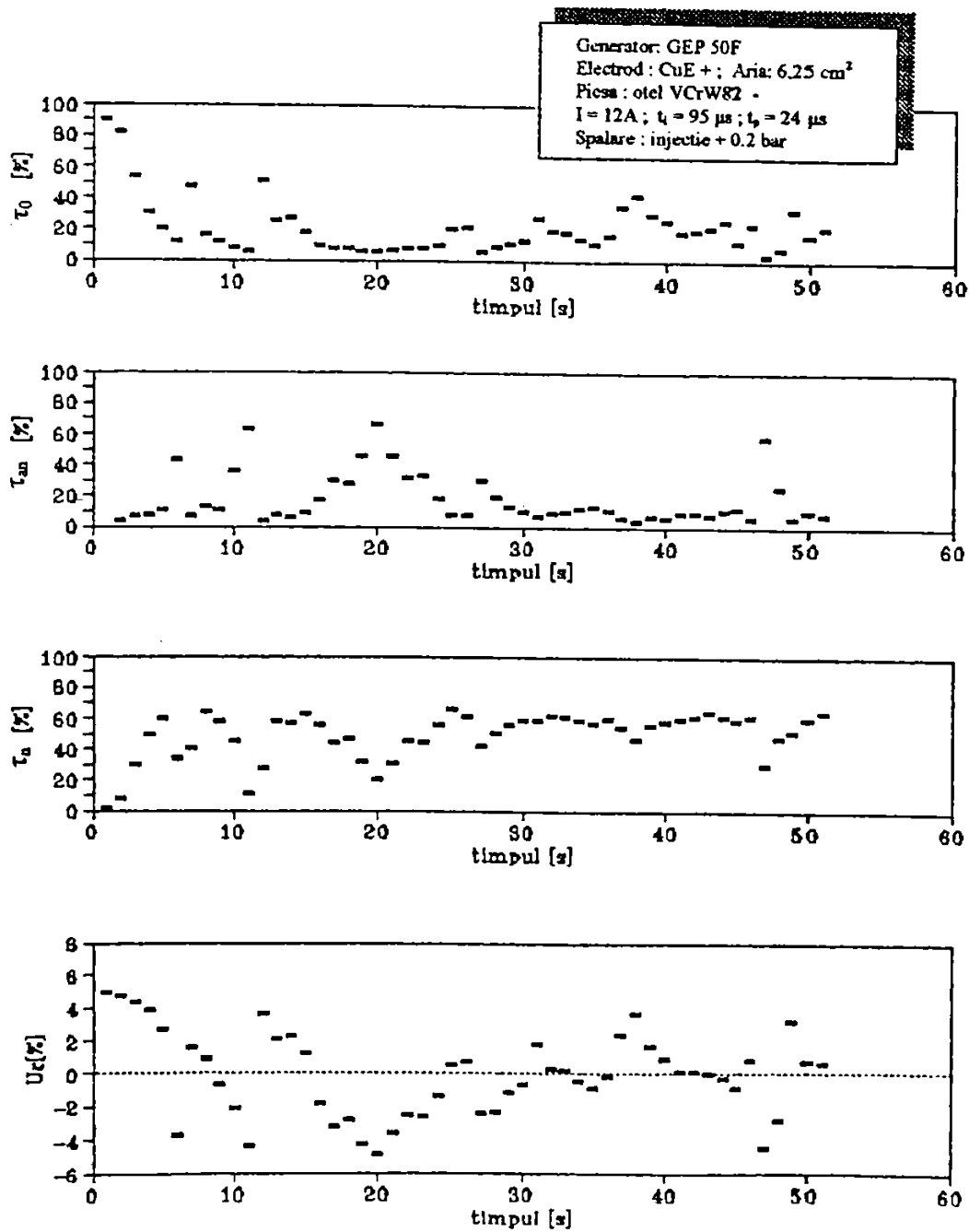


Fig.3.5.6.a.

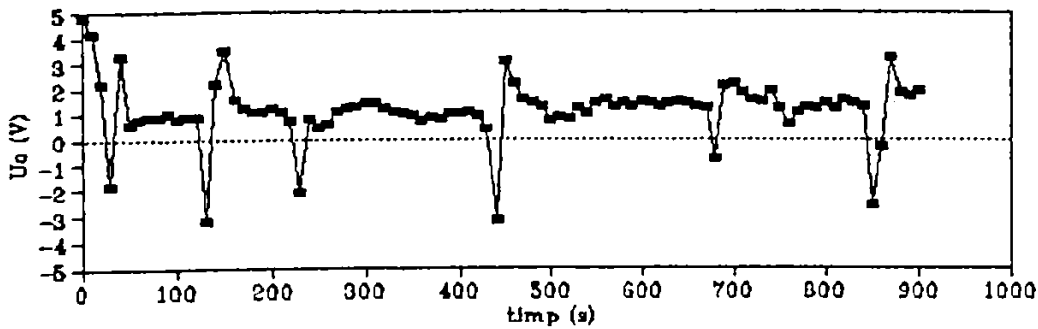
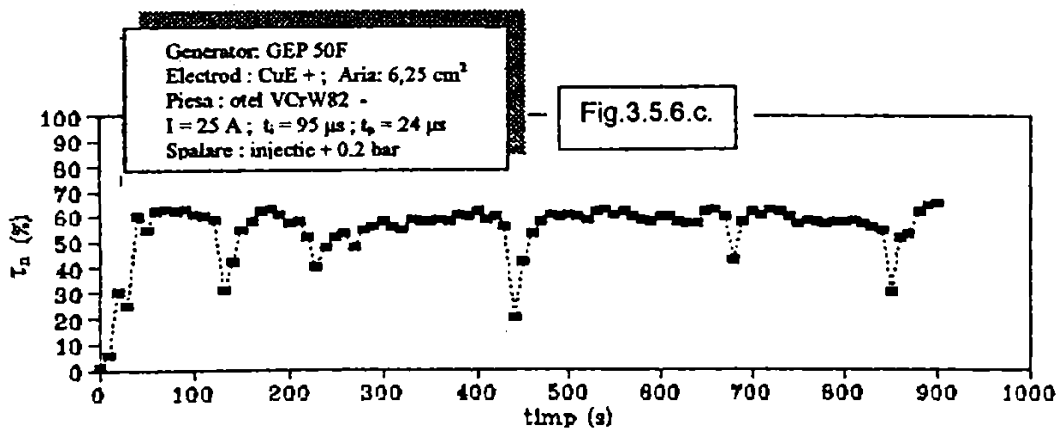
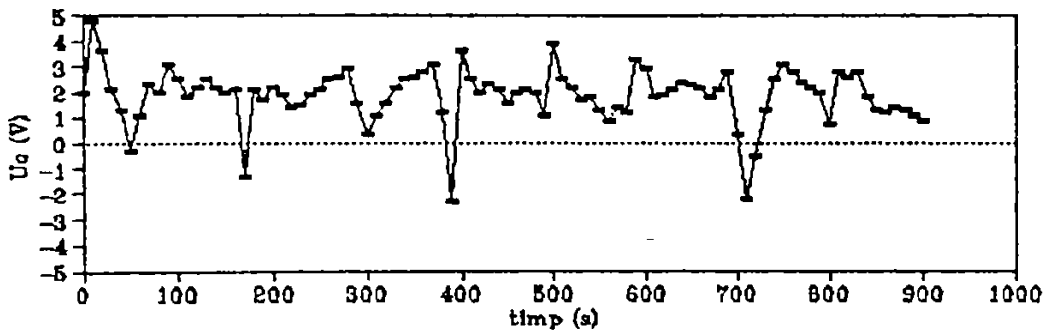
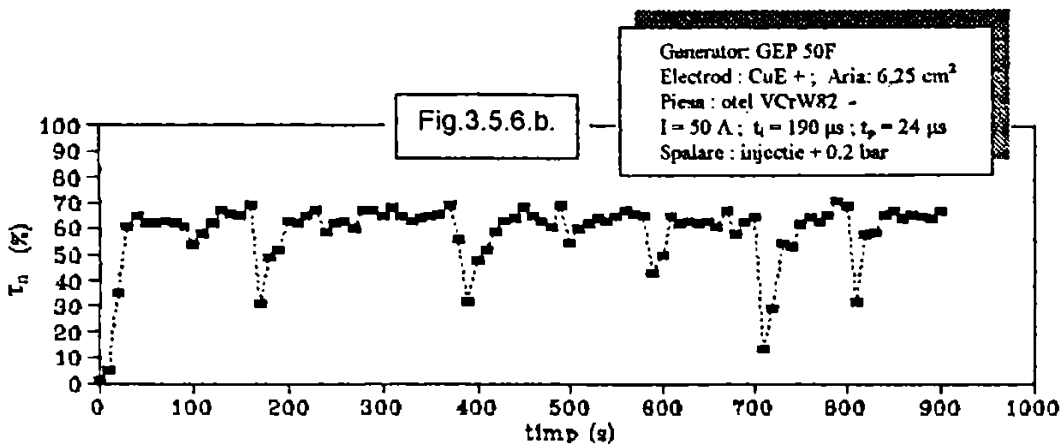


Fig. 3.5.6 a,b,c. Variatiile in timp ale duratelor relative ale impulsurilor si a tensiunii de comanda a avansului.

3.6. SRA pentru masina de prelucrat microorificii prin eroziune electrica.

Prelucrarea prin eroziune electrica a microorificiilor circulare sau profilate, cu dimensiuni transversale de 0.1...1 mm ofera in multe situatii o alternativa eficienta fata de prelucrarile prin aschiere, limitate de caracteristicile mecanice ale materialului semifabricatului, respectiv de rigiditatea si durabilitatea sculei. Acest fapt a impulsionat abordarea – de catre un colectiv din care a facut parte si autorul - a unor cercetari orientate spre realizarea unor sisteme tehnologice de prelucrare a microorificiilor singulare pentru pulverizatoarele pompelor de injectie ale motoarelor Diesel [22,23,25,33,34], respectiv pentru confectionarea unor site pentru industria chimica, prin prelucrarea simultana a unui numar mare de micro-orificii . Rezultatele originale ale cercetarilor au fost confirmate prin certificate de inovator [30,31,32], respectiv brevete de inventie [26,27,28,29].

Pentru prelucrarea microorificiilor pompelor de injectie a fost realizata o masina experimentală [24]

(fig.3.6.1), echipata cu un generator de impulsuri de relaxare tip RC, cu urmatoarele caracteristici:

-tensiune de amorsare:

$$U_0 = 100...400 \text{ V};$$

-energia descarcarilor

$$w_l = 0.03...110 \text{ mJ};$$

- frecventa descarcarilor

$$f_i = 0.33...240 \text{ kHz}.$$

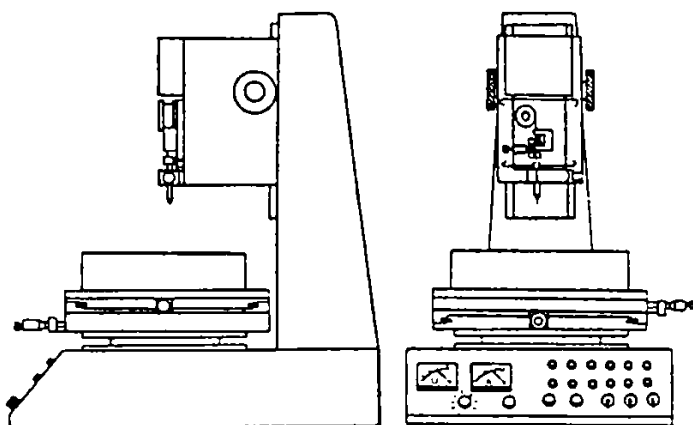


Fig.3.6.1. Masina experimentală pentru prelucrarea micro-alezajelor

Sistemul de reglare a avansului a fost proiectat pe baza studiului structural prezentat la punctul 3.2, cu caracteristicile prezentate in tabelul 3.6.1. Structura constructiva a SRA este prezentata in fig.3.6.2.

Caracterizarea calitativa a SRA realizat s-a obtinut in urma efectuării unui studiu de stabilitate dinamica, pe baza schemei structurale prezentate in fig.3.6.3.

Funcțiile de transfer (f.d.t.) ale blocurilor componente s-au determinat din caracteristicile individuale ale acestora:

1. Regulatorul si amplificatorul de curent continuu:

$$Y_R = \frac{U_M(s)}{\Delta U(s)} \quad (3.6.1)$$

Tabelul 3.6.1. Caracteristicile SRA

Nr. crt.	Caracteristica	Tip	Cod
1	Traectoria	rectilinie	T3
2	Cursa	nelimitata	C
3	Fora	mica	F2
4	Gabarit	mic	G1
5	Obiectul mobil	electrodul	O2
6	Caracteristica sculei	deformabil	S1
7	Gama de viteze	mare	V3
8	Servomotor	Electric de cc	
9	Lant cinematic	Reductor + role de frictiune	
10	Constanta de timp	mica	CT2
11	Caracterul miscarii	continuu	M2

Din schema electrica a blocului (fig.3.6.4) se observa ca semnalul de eroare ΔU se aplica la intrarea amplificatorului operational AO conectat in schema de regulator tip proportional, cu factorul de amplificare :

$$k_R = \frac{r4 \cdot (r1 + r2)}{r1 \cdot r2} \quad (3.6.2)$$

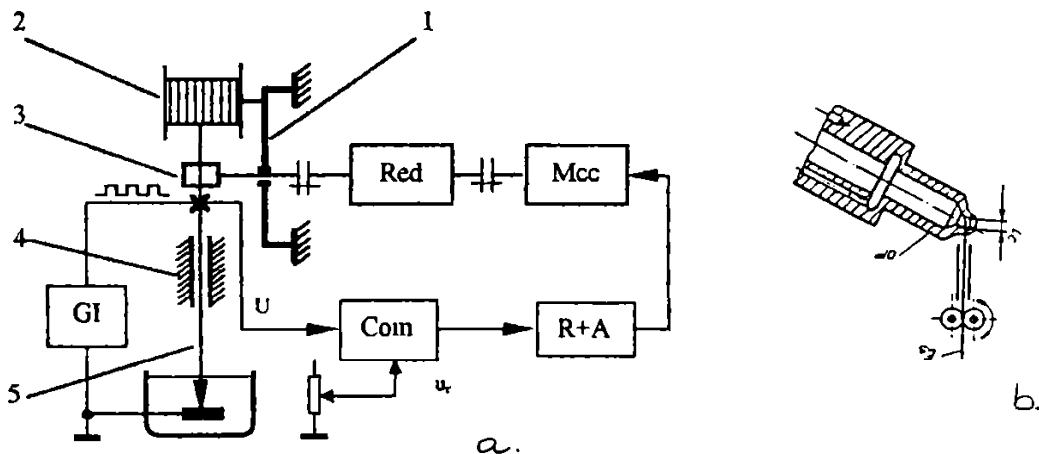


Fig.3.6.2. Constructia SRA pentru micromasina EDM: a - schema bloc; b - detaliu de utilizare; u_r , U - tensiune de referinta, respectiv de reactie; Com - comparator; R+A - regulator - amplificator; Mcc - motor de cc; Red - reductor de turatie; 1 - Carcasa cap de lucru; 2 - bobina cu electrodul-scula; 3 - rola de antrenare ; 4 - ghidaj; 5 - electrodul filiform.

Tensiunea de la iesirea AO este repetata de amplificatorul de putere, astfel ca:

$$Y_R(s) = k_R \quad (3.6.3)$$

Cu valorile din schema, $k_R = 10$

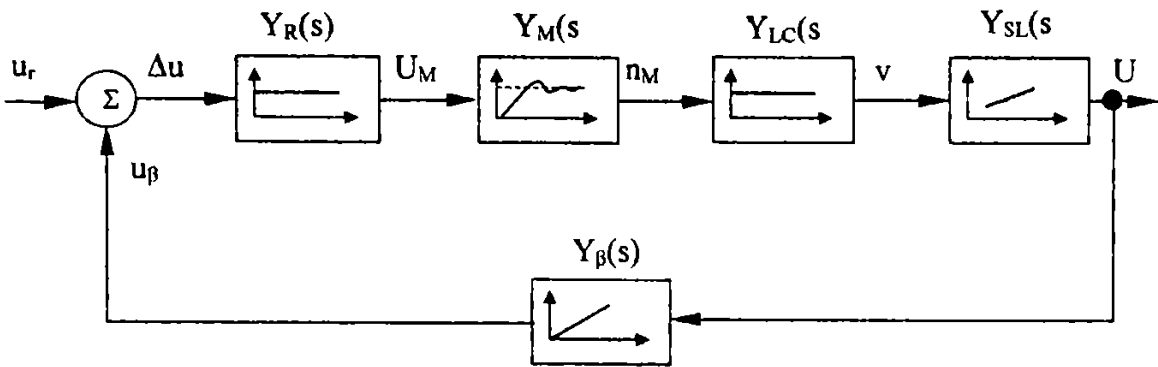


Fig.3.6.3. Schema structurala a SRA.

$Y_R(s)$ – f.d.t. a regulatorului – in care este inclus si comparatorul si amplificatorul de putere; $Y_M(s)$ – f.d.t. al motorului de c.c.; $Y_{LC}(s)$ – f.d.t. al lantului cinematic de transmisie; $Y_{SL}(s)$ – f.d.t. a spatiului de lucru (interstitiului); $Y_\beta(s)$ – f.d.t. a caii (traductorului) de reactie.

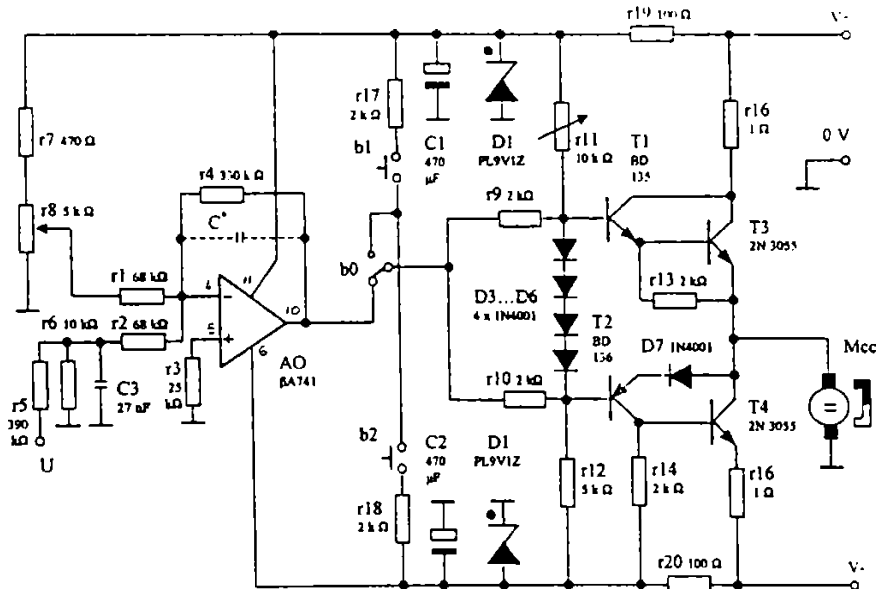


Fig. 3.6.4. Schema electrica a blocului de comanda : comparator, regulator, amplificator de putere.

2. Motorul de c.c.

$$Y_M(s) = \frac{n_M(s)}{U_M(s)} = \frac{k_{UM} / k_D}{1 + T_m \cdot s + T_\theta \cdot T_m \cdot s^2} \approx \frac{k_{UM} / k_D}{1 + T_m \cdot s} \quad (3.6.4)$$

S-a utilizat un micromotor de c.c. tip CM 12V – Tesla cu caracteristicile:

Tensiunea nominala $U_n = 12$ V; Turatia nominala $n_{Mn} = 3000$ [rot min⁻¹]

Rezistenta infasurarii $R_a = 2.7$ Ω ; Inductivitatea infasurarii $L = 4.1$ mH

Cuplul pe amper $k_T = 8.1 \cdot 10^{-3} \text{ Nm / A}$;

Constanta cuplului viscos $k_D = 10^{-3} \text{ [Nm / (rot min}^{-1}\text{)]}$;

Constantele de timp : mecanica $T_m = 12 \cdot 10^{-3} \text{ s}$;

electromagnetica $T_e = L/R_a = 1.5 \cdot 10^{-3} \text{ s}$.

Inlocuind $k_{UM} = k_T / R_a$ si neglijand produsul $T_m T_e$ ($\ll T_m$), rezulta:

$$Y_M(s) = \frac{3}{1 + 12 \cdot 10^{-3} \cdot s} \quad (3.6.5)$$

1. Lantul cinematic de transmisie:

$$Y_{LC}(s) = \frac{v_s}{n_M} = i \cdot \pi \cdot \frac{D}{60} \quad (3.6.6)$$

unde : $i = 1 / 400$ - raportul de transmisie al reductorului melcat;

$D = 8 \cdot 10^{-3} \text{ [m]}$ – diametrul rolei de frictiune:

$$Y_{LC}(s) = k_{LC} = 1.05 \cdot 10^{-6} \text{ [mm s}^{-1} \text{ / rot min}^{-1}\text{]} \quad (3.6.7)$$

2. Spatiul de lucru:

$$Y_{SL}(s) = \frac{U(s)}{v(s)} \quad (3.6.8)$$

Pentru determinarea f.d.t. a interstitiului, se considera variatia acestuia pe durata dt , in prezenta avansului v :

$$dg = -v \cdot dt \quad (3.6.9)$$

Pentru grosimi ale interstitiului in jurul valorii optime, intre tensiunea medie pe interstitiu si grosimea acestuia exista o dependenta liniara (fig.3.6.5), deci se poate scrie:

$$dg = k_{SL} \cdot dU = -v \cdot dt \quad (3.6.10)$$

in domeniul operational :

$$k_{SL} \cdot U(s) \cdot s = -v(s) \quad (3.6.11)$$

Pentru determinarea valorii constantei k_{SL} s-a determinat experimental dependenta $g = f(U)$, prezentata in fig.3.6.5;

Analitic:

$$k_{SL} = \frac{dg}{dU} = \frac{d}{dU}(-0.5088 + 0.05604 \cdot U) = 0.05604 \text{ } [\mu\text{m/V}], \text{ respectiv:}$$

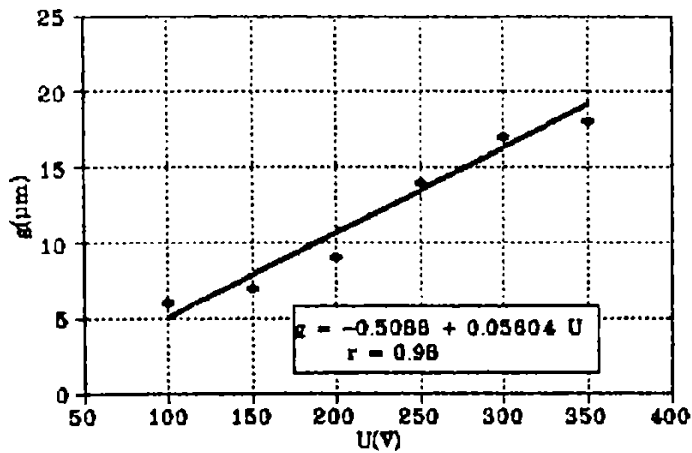


Fig.3.6.5. Variatia grosimii interstitiului cu tensiunea pe interstitiu.

$$k_{SL} = 5.6 \cdot 10^{-8} \text{ } [m/V]$$

Ca urmare:

$$Y_{SL}(s) = -\frac{1}{5.6 \cdot 10^{-8}} \cdot \frac{1}{s} \quad (3.6.12)$$

3. Traductorul de reactie:

Pentru cazul de fata, traductorul de reactie este un divizor de tensiune integror, realizat dupa schema din fig.3.3.4 si avand functia de transfer :

$$Y_{\beta}(s) = \frac{U_{\beta}(s)}{U(s)} = \frac{1/k_{\beta}}{1 + 1/k_{\beta} \cdot T_{\beta} \cdot s} \quad (3.6.13)$$

Divizorul este inclus in schema blocului electronic (fig.3.6.4) si este format din elementele r_5 , r_6 , C_3 ; astfel:

$$k_{\beta} = 1 + \frac{r_1}{r_2} \quad T_{\beta} = r_1 \cdot C_3 \quad k_{\beta} = 40 \quad T_{\beta} = 1.1 \cdot 10^{-3} \text{ } [s]$$

$$Y_{\beta} = \frac{0.025}{1 + 2.5 \cdot 10^{-5} \cdot s} \quad (3.6.14)$$

Funcția de transfer globală a circuitului închis din fig. 3.6.3 este:

$$Y(s) = \frac{Y_d(s)}{1 + Y_d(s) \cdot Y_{\beta}(s)} \quad (3.6.15)$$

unde:

$Y_d(s) = Y_R(s) \cdot Y_M(s) \cdot Y_{LC}(s) \cdot Y_{SL}(s)$ este funcția de transfer a circuitului deschis:

$$Y_0(s) = Y_R(s) \cdot Y_M(s) \cdot Y_{LC}(s) \cdot Y_{SL}(s) \cdot Y_{\beta}(s) = \frac{k}{s \cdot (1 + T_m \cdot s) \cdot (1 + 1/k_{\beta} \cdot T_{\beta} \cdot s)} \quad (3.6.16)$$

respectiv, în domeniul frecvențial se scriu succesiv :

$$Y_0(j\omega) = - \frac{k}{j\omega \cdot (1 + j\omega \cdot T_m) \cdot (1 + j\omega \cdot \frac{T_{\beta}}{k_{\beta}})} \quad (3.6.17)$$

$$Y_0(j\omega) = - \frac{k}{A + j \cdot B} \quad (3.6.18)$$

$$A = 1 - \omega^2 \cdot (T_m + T_{\beta} / k_{\beta}) \quad B = \omega \cdot (1 - \frac{1}{k_{\beta}} \cdot T_{\beta} \cdot T_m \cdot \omega^2)$$

$$Y_0(j\omega) = P(\omega) + j \cdot Q(\omega) = - \frac{k \cdot A}{A^2 + B^2} + j \cdot \frac{k \cdot B}{A^2 + B^2} \quad (3.6.19)$$

Hodograful funcției $Y_0(j\omega)$ este prezentat în fig.3.6.6. Pe baza criteriului de stabilitate Nyquist se constată că sistemul analizat este stabil pentru valorile adoptate ale parametrilor. Pentru creșterea rezervei de stabilitate s-a acționat asupra coeficientului de amplificare k_R care a fost redus de la valoarea inițială 10 la 5 și respectiv 3. Acest lucru s-a realizat prin înlocuirea rezistenței fixe r_4 din fig.3.6.4 cu un potențiomtru de 500 k Ω .

Testarea tehnologică a SRA s-a făcut prin prelucrarea – până la străpungere, a unor epruvete din oțel cu grosimea de 1 mm, la diferite valori ale tensiunii medii, rezultate prin prescrierea tensiunii de referință. Rezultatele încercărilor sunt prezentate în fig.3.6.7.

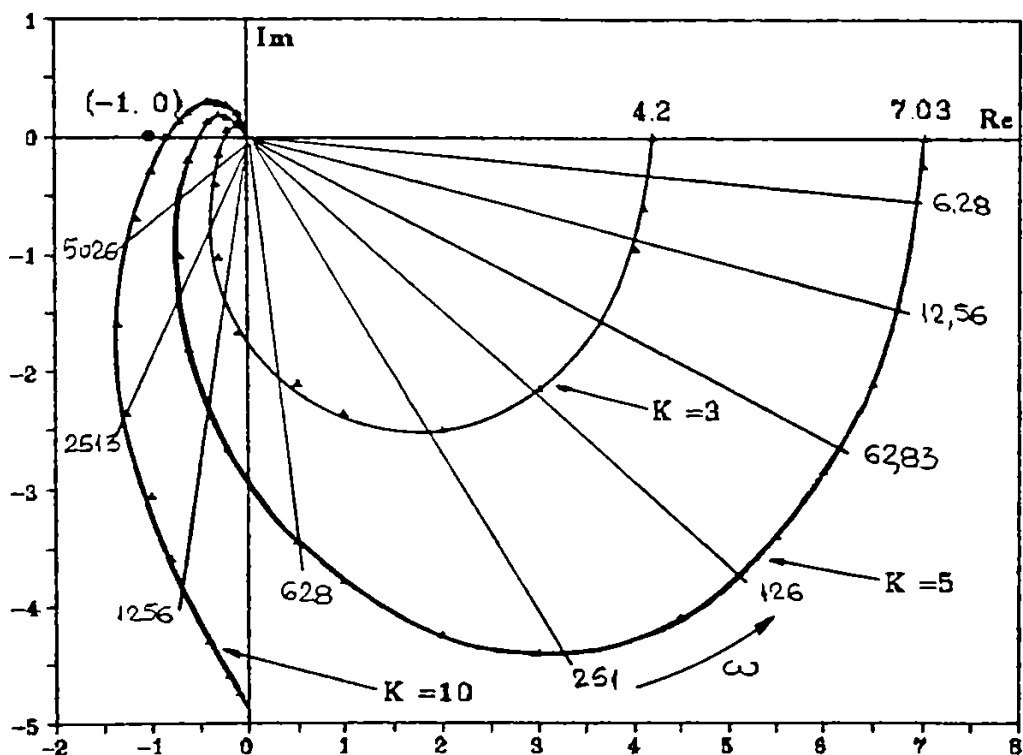


Fig.3.66. Locul de transfer al SRA pentru micromasina EDM.

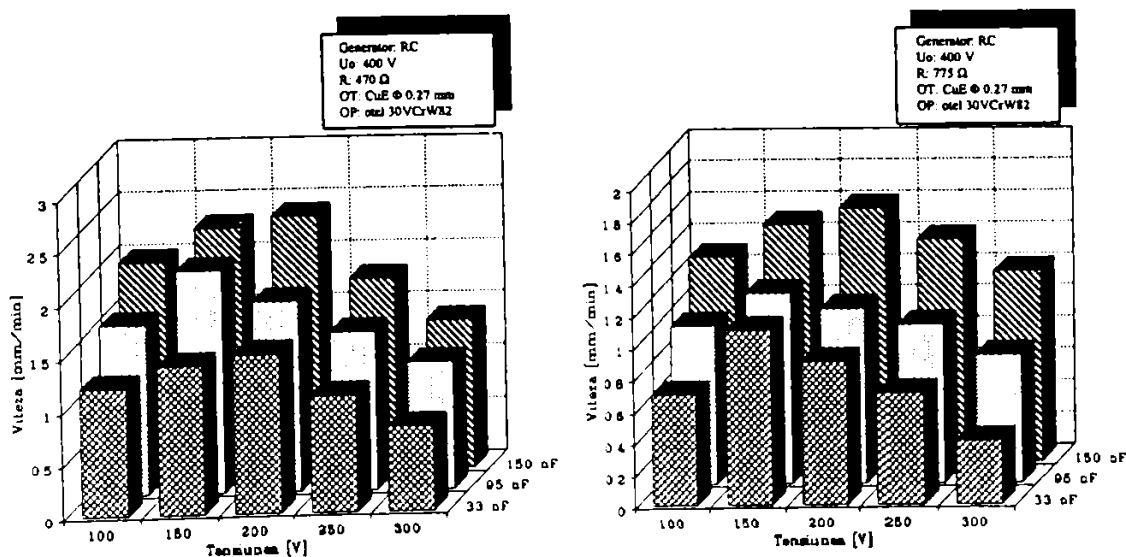


Fig.3.6.7. Dependenta vitezei de prelucrare cu tensiunea medie

3.7. Dispozitiv pentru prelucrarea implantelor stomatologice tip surub.

Abordarea implantologiei orale in Romania, ca disciplina stomatologica a impus efectuarea unor cercetari pentru elaborarea unor tehnologii de prelucrare a implantelor dentare, confectionate din materiale biocompatibile, pe baza aliajelor de Ti. Alaturi de procedeele clasice de prelucrare (turnare, deformare plastica, aschiere) se recomanda si prelucrarea prin eroziune electrica, in urma careia se obtine o suprafata care asigura o aderenta optima pentru acoperiri ulterioare cu un strat de hidroxiapatita. Printre alte tipuri constructive de implante, o larga utilizare o au implantele surub, cilindrice sau conice (fig.3.7.1). Intrucat masinile universale de electroeroziune nu sunt echipate in mod obisnuit cu dispozitive pentru filetare, s-au efectuat cercetari care au condus la realizarea unui dispozitiv special, care prezinta ca si componenta esentiala sistemul de avans al semifabricatului.

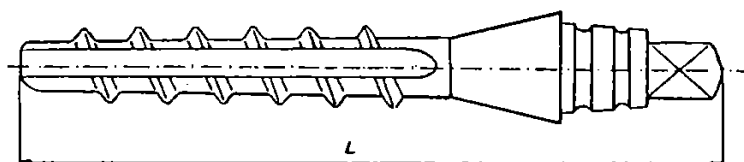


Fig.3.7.1. Implant oral tip surub

Prelucrarea implantelor surub [143] se realizeaza prin copierea rotativa a profilului unui electrod-scula intr-un semifabricat, care executa miscarea

de avans elicoidala, corespunzatoare pasului surubului

Miscarile electrodului-scula si ale semifabricatului sunt realizate de subansamble distincte, actionate independent unul fata de celalalt, ansamblul prezentand practic doua sisteme de avans - unul pentru OT si unul pentru OP, care functioneaza nesimultan.

Caracteristicile generale ale SRA, codificate conform tab. 3.2.1 sunt prezentate in tabelul 3.7.1.

Tabelul 3.7.1 Caracteristicile dispozitivului de filetare

Nr. crt.	Caracteristica	Pentru OT	Pentru OP
1	Traietoria	T1	T3
2	Cursa	C2	C
3	Fora	F3	F2
4	Gabarit	G2	G1
5	Obiectul mobil	O1	O2
6	Caracteristica sculei	S1	S1
7	Gama de viteze	V2	V3
8	Constanta de timp	CT2	CT2
9	Caracterul miscarii	M1	M2

Dispozitivul port-piesa (fig.3.7.2) se monteaza pe masa masinii de prelucrat prin eroziune electrica prin intermediul unei placi de baza (1) prevazuta cu ghidaje. Pe aceasta culiseaza sania (2), care sustine placa suport (3),

articulata la o extremitate si fixata la cealalta, prin setul de cale (4) si surubul (5). Pe placa suport se afla motorul de actionare pas cu pas (6),

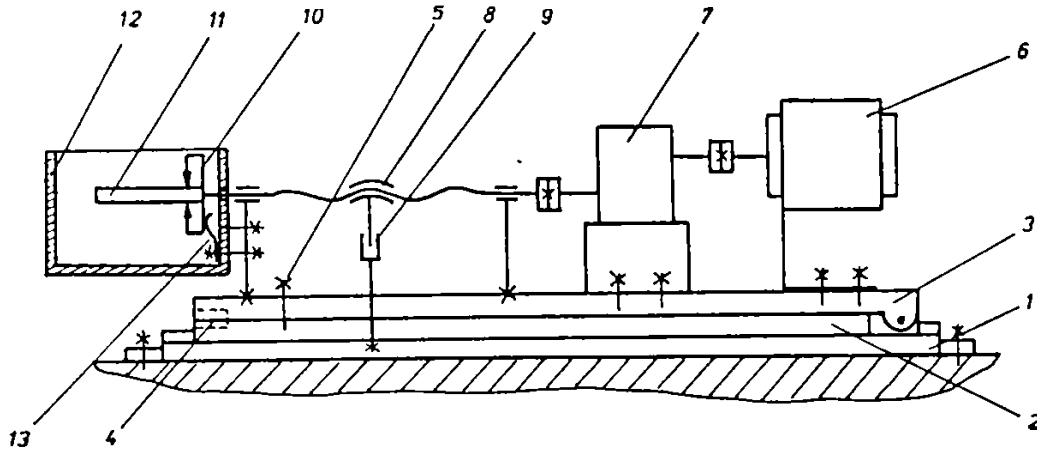


Fig.3.7.2. Dispozitivul de fixare si antrenare al semifabricatului.

un reductor (7) si mecanismul surub-piulita (8), interschimbabil, functie de pasul surubului care urmeaza a fi prelucrat. Piulita este solidarizata cu placa de baza prin culisa (8). Semifabricatul (11) se fixeaza in mandrina (10), aflata in cuva (12) care permite efectuarea prelucrarii in imersiune. Contactul alunecator (13) sunteaza electric cuplele cinematice ale dispozitivului. Pentru prelucrarea filetelor cilindrice, placa suport este paralela cu placa de baza, iar in cazul suruburilor conice, placa suport se inclina fata de placa de baza cu un unghi egal cu semiunghiul la varf al conului.

Electrodul-scula este un disc rotativ, confectionat din cupru electrolitic, cu profilul prelucrat corespunzator filetelui implantului.

Dispozitivul port - electrod (fig.3.7.3) se monteaza pe pinola masinii, prin intermediul placii rotitoare (1). Suportul (2) sustine motorul pas cu pas (3) pe arborele caruia este fixat electrodul - scula(4). Lagarele motorului sunt suntuat electric prin lamela de contact (5).

Dispozitivele au fost montate pe o masina ELER 01 cu generator GEP 50 F. Actionarea avansului tehnologic se face dela pinola si/sau dispozitivul port-piesa. In configuratia initiala a masinii, avansul pinolei port - electrod este actionat electro-hidraulic prin servovalva comandata din blocul de reglare al avansului. La atingerea cotei prescrise, un limitator de cursa determina oprirea prelucrarii.

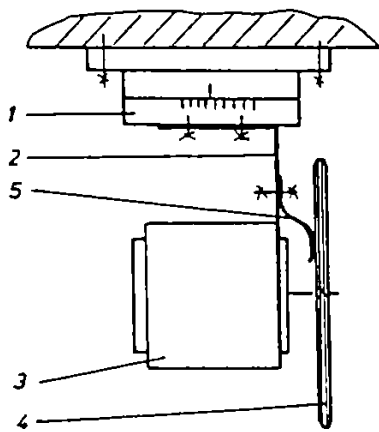
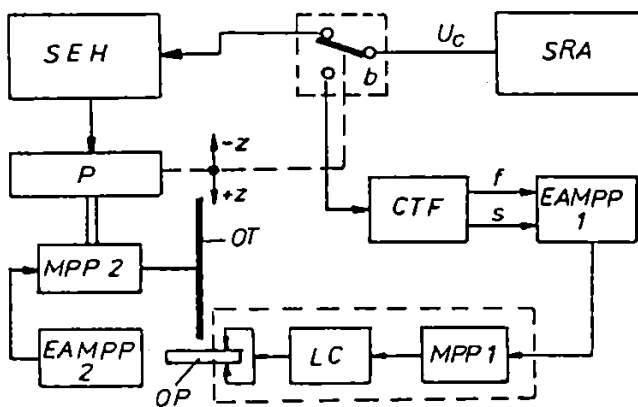


Fig.3.7.3. Dispozitivul port-electrod.

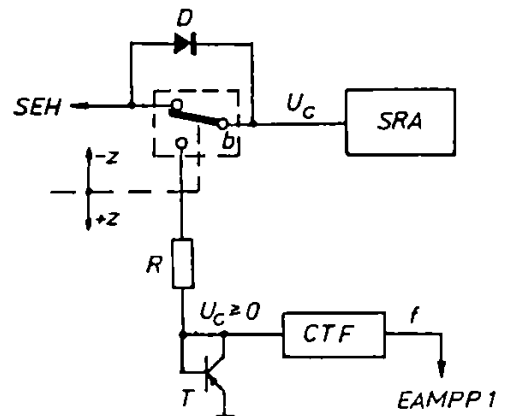
Într-o prima variantă, prin reconfigurarea circuitelor de comandă a avansului (fig.3.7.4.a), se realizează următorul ciclu de funcționare:

- în regim de manevră, electrozudul (OT) este avansat prin deplasarea pinolei (P) până la atingerea suprafeței piesei (OP). În această situație, se poziționează limitatorul (b) corespunzător adâncimii filetului, după care se retrage OT pe suprafața OT⁻.

- în regim de lucru, în prima fază se efectuează prelucrarea cu avansul OT, până la atingerea cotei prescrise., după care



a.

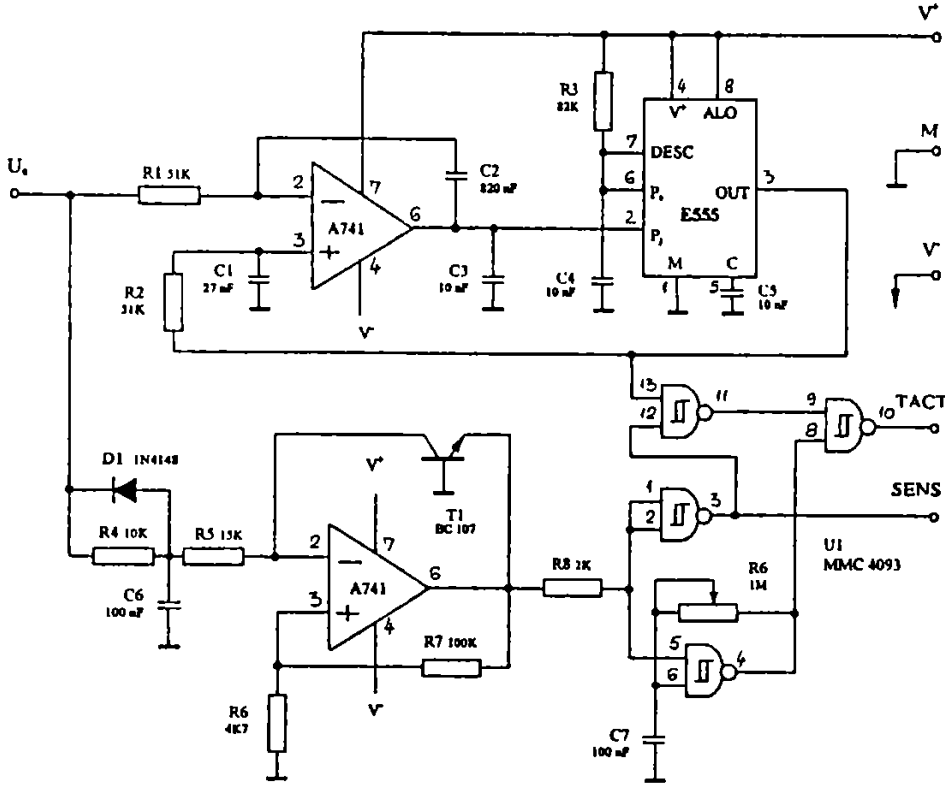


b.

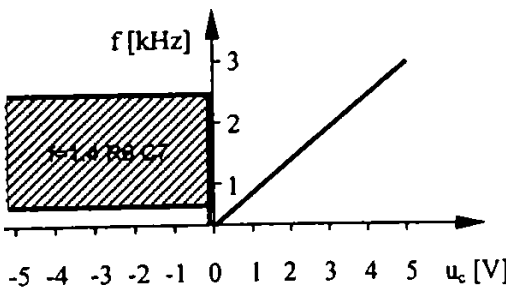
Fig. 3.7.4. Structura circuitelor de comandă a avansului. a – varianta I; b – varianta II

limitatorul comută tensiunea de comandă U_c de la servovalva electrohidraulică (SEH) la un convertor tensiune-frecvență (CTF) (fig. 3.7.5). Astfel, se obțin impulsuri cu frecvență $f = k |U_c|$, precum și un semnal logic s , care caracterizează semnul tensiunii U_c . Aceste semnale, aplicate echipamentului de acționare a motorului pas cu pas (EAMPP) determină rotirea acestuia cu viteza și sensul dependente de mărimea și semnul tensiunii U_c . Mișcarea se transmite prin lanțul cinematic (LC) la OP și constituie avansul elicoidal comandat indirect prin sistemul de avans (SRA) al mașinii. La terminarea prelucrării, operatorul comută

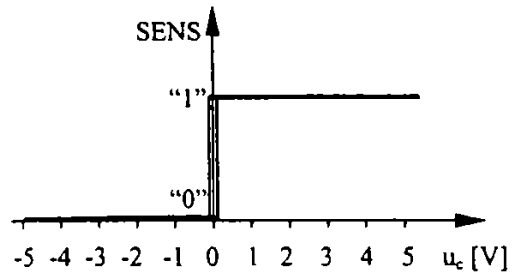
manual comanda avansului la SEH si efectueaza manevrele necesare extragerii piesei prelucrate.



a.



b.



c.

Fig.3.7.5. Convertorul tensiune/frecventa;
a. – schema electrica; b,c – caracteristicile de conversie

Varianta prezentata functioneaza corect in cazul unei executii foarte ingrijite a dispozitivului (frecari mici si lipsa jocului in angrenaje) precum si cu un motor pas cu pas cu o dinamica foarte buna, conditii necesare intreruperii rapide a scurtcircuitelor, inerente prelucrarii prin eroziune electrica. In cazul in care aceste conditii nu pot fi respectate in totalitate, se obtin rezultate bune cu acelaasi dispozitiv, utilizand a doua varianta de comanda a avansului, prezentata in fig.3.7.4.b. In acest caz, avansul este executat succesiv de catre OP - prin MPP1, respectiv OT - prin actionarea electrohidraulica prin SEH. Semnalul de comanda $U_c > 0$ produce avansul, iar $U_c < 0$, retragerea. Prin urmare, la inceputul prelucrarii OT avanseaza pana la cota limitata prin b, dupa care U_c se aplica CTF, provocand avansul elicoidal al OP. In caz de scurtcircuit ($U_c < 0$), MPP1 va fi blocat iar pinola se va retrage, comutand (cu o mica histereza) limitatorul b. Dupa intreruperea scurtcircuitului, ciclul se reia pana la terminarea prelucrarii. In acest mod, comportarea dinamica a ansamblului masina-dispozitiv se imbunatateste prin folosirea miscarii rapide a pinolei, respectiv prin eliminarea influentei jocurilor din LC prin evitarea reversarii sensului de rotatie a MPP1.

Miscarea de rotatie a OT este independenta de avans si se realizeaza cu o turatie constanta, prin MPP2, alimentat de la EAMPP2.

In tabelul 3.7.2 sunt prezentate unele caracteristici tehnologice ale implantelor prelucrate cu dispozitivul realizat

Tabelul 3.7.2. Rezultate tehnologice ale prelucrarilor implantelor surub.

Nr. crt.	Regim de prelucrare			Timp de prelucrare [min]	Abatere dimensionala [μm]	Rugozitate Ra [μm]	OBS.
	I [A]	t_i [μs]	t_p [μs]				
1	3	6	4	74	0.02	2.21	Generator GEP 50F Electrod: CuE (+) Piesa: TiAl ₆ V ₄ Dielectric: motorina Spalare: prin imersie
2	3	12	6	68	0.03	2.48	
3	6	12	6	51	0.06	3.11	
4	6	24	8	47	0.08	3.48	
5	12	48	24	33	0.11	3.90	
6	12	95	24	31	0.13	4.37	
7	25	95	24	27	0.26	6.88	

CAP.4. CERCETARI PENTRU ELABORAREA UNOR STRUCTURI HARD SI SOFT DE CONDUCERE A AVANSULUI LA MASINI DE PRELUCRARE PRIN EROZIUNE ELECTRICA CU ELECTROD FILIFORM.

4.1. Consideratii preliminare.

4.1.1. Oportunitatea cercetarilor.

Diferite intreprinderi profilate pe prelucrari mecanice din Romania au in dotare un numar insemnat de masini de prelucrare prin eroziune electrica cu electrod filiform tip ELEROFIL 10 CNC, de productie autohtona. Acest parc de masini a fost proiectat si lansat in productie in jurul anului 1980; in prezent, masinile prezinta o importanta uzura fizica, dar mai ales morala, aceasta din urma localizata in special la echipamentul de comanda si actionare, precum si la resursele soft utilizate. In consecinta, pe piata a aparut o cerere semnificativa relativ la modernizarea masinilor ELEROFIL existente, solutie incomparabil mai ieftina decat achizitionarea unei masini noi. Ofertele disponibile pe piata sunt prezentate in tabelul 4.1.1

Tabelul 4.1.1 Posibilitati de modernizare ale masinilor ELEROFIL 10.

Nr. crt.	Actiuni pentru modernizarea masinii ELEROFIL 10	Avantaje	Dezavantaje
1.	Inlocuirea completa a CNC, actionarii avansului si a generatorului de impulsuri cu echipament dedicat din import.	Se obtine o masina practic noua (cu exceptia unor subansamble, mecanice).	Cost ridicat
2.	Inlocuirea calculatorului cu un PC, cu pastrarea resurselor hard si adaptare soft.	Volum minim de lucrari. Pret relativ scazut.	Se pastreaza resurse depasite fizic si moral.
3.	Inlocuirea echipamentului de comanda cu altul dezvoltat in jurul unui PC. Inlocuirea actionarilor existente.	Soft aliniat la standardele mondiale. Surse hard universale, accesibile Pret moderat.	Neidentificate

Aceste posibilitati au impulsionat abordarea unor cercetari pentru elaborarea unor structuri hard si soft moderne care aplicate masinii ELEROFIL sa conduca la obtinerea unor caracteristici tehnico-functionale apropiate de cele ale masinilor moderne – realizate in ultimii ani - in conditii tehnico economice avantajoase pentru beneficiari.

4.1.2. Orientarea cercetarilor.

Problema de baza in conducerea procesului de prelucrare pe o masina cu electrod filiform o constituie comanda avansului pe cel puțin doua directii x si y (conturare plana) . Pentru aceasta este necesara prezenta a doua bucle de reglare a avansului, independente, care trebuie sa asigure:

- reglarea interstitiului din punct de vedere tehnologic – in conformitate cu desfasurarea procesului electroeroziv;
- stabilirea pozitiei punctului de interactiune OT-OP in raport cu un sistem de coordonate, in conformitate cu programul de conturare prescris.

Structura originala a masinii ELEROFIL 10, la nivel de schema bloc este prezentata in fig.4.1.1.

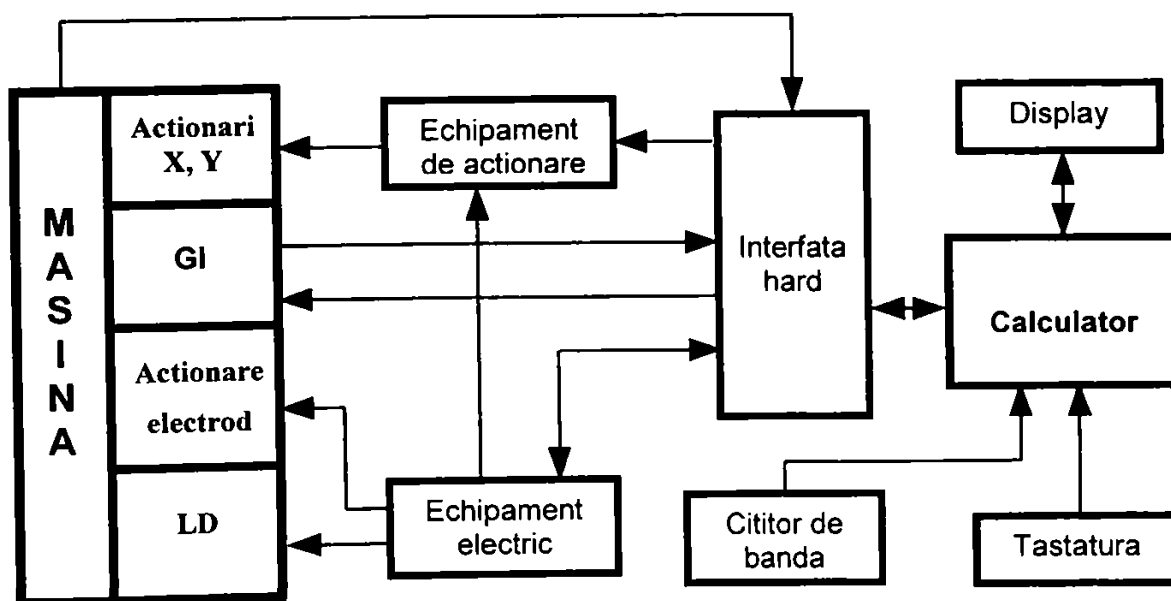


Fig.4.1.1. Schema bloc a masinii ELEROFIL 10.

Cercetarile s-au orientat spre stabilirea arhitecturii, concepiei si structurii programelor de conducere cu un calculator compatibil IBM PC a unei masini de prelucrat prin eroziune electrica cu electrod filiform tip ELEROFIL 10, echipat cu

un generator de impulsuri ROGIF 20. Pentru scrierea programelor s-a utilizat compilatorul C Borland C++, versiunea 3.1 implementata pe calculatoare compatibile PC, cel putin in configuratia 386.

Transmiterea datelor intre calculator si utilajul de prelucrare se face prin interfata paralela de tip LPT, direct sau prin intermediul unei interfete hard.

S-au cercetat doua variante de comanda cu calculator PC a masinii, corespunzand pozitilor 2 si 3 din tabelul 4.1.1.

I - prima varianta utilizeaza structura initiala de comanda a MPP proiectata la lansarea masinii [173]. In acest caz, se pastreaza interfetele hard dintre calculator si elementele de executie care sunt realizate cu circuite TTL, fiind voluminoase si relativ putin fiabile. Pentru comanda avansului calculatorul adreseaza doua memorii EPROM, in care sunt inscrite secventele de comanda pentru amplificatoarele de putere. Aceasta configuratie necesita 8 biti pentru adresarea EPROM-ului, cate 4 pentru fiecare axa.

II - a doua varianta elimina interfata hard originala si o inlocuieste cu alta, mult redusa. In acest caz, avansul este comandat pe patru biti, corespunzand frecventelor (tacturilor) T_x , T_y , respectiv sensurilor S_x , S_y , pentru comanda directa a convertoarelor de putere pentru motoarele pas cu pas corespunzatoare celor doua axe : MPP_x si MPP_y .

Schema bloc de interfatare intre echipamentul tehnologic si calculator, in varianta II se prezinta in fig 4.1.2. Se remarca prezenta urmatoarelor canale input/output de vehiculare a informatiilor:

1. Canale aferente informatiilor care se vehiculeaza prin intermediul interfetei paralele LPT a calculatorului:

- 2 linii iesire a cate 2 biti fiecare (tact si sens) pentru comanda convertoarelor de putere aferente celor 2 axe;

- o linie de intrare de 1 bit pentru cererea unei intreruperi, urmare aparitiei unui eveniment considerat ca o avarie aparuta in timpul procesului de prelucrare: ruperea firului, atingerea limitatorilor, pierderea proprietatilor lichidului dielectric, etc. In cadrul regimului de comanda manuala, acelasi bit este folosit pentru receptionarea impulsurilor de nul de la traductoarele de deplasare, utilizate in cazul operatiilor de centrare.

- o linie de iesire de 1 bit pentru initializare (reset) la pornire, respectiv dupa eliminarea avariei;

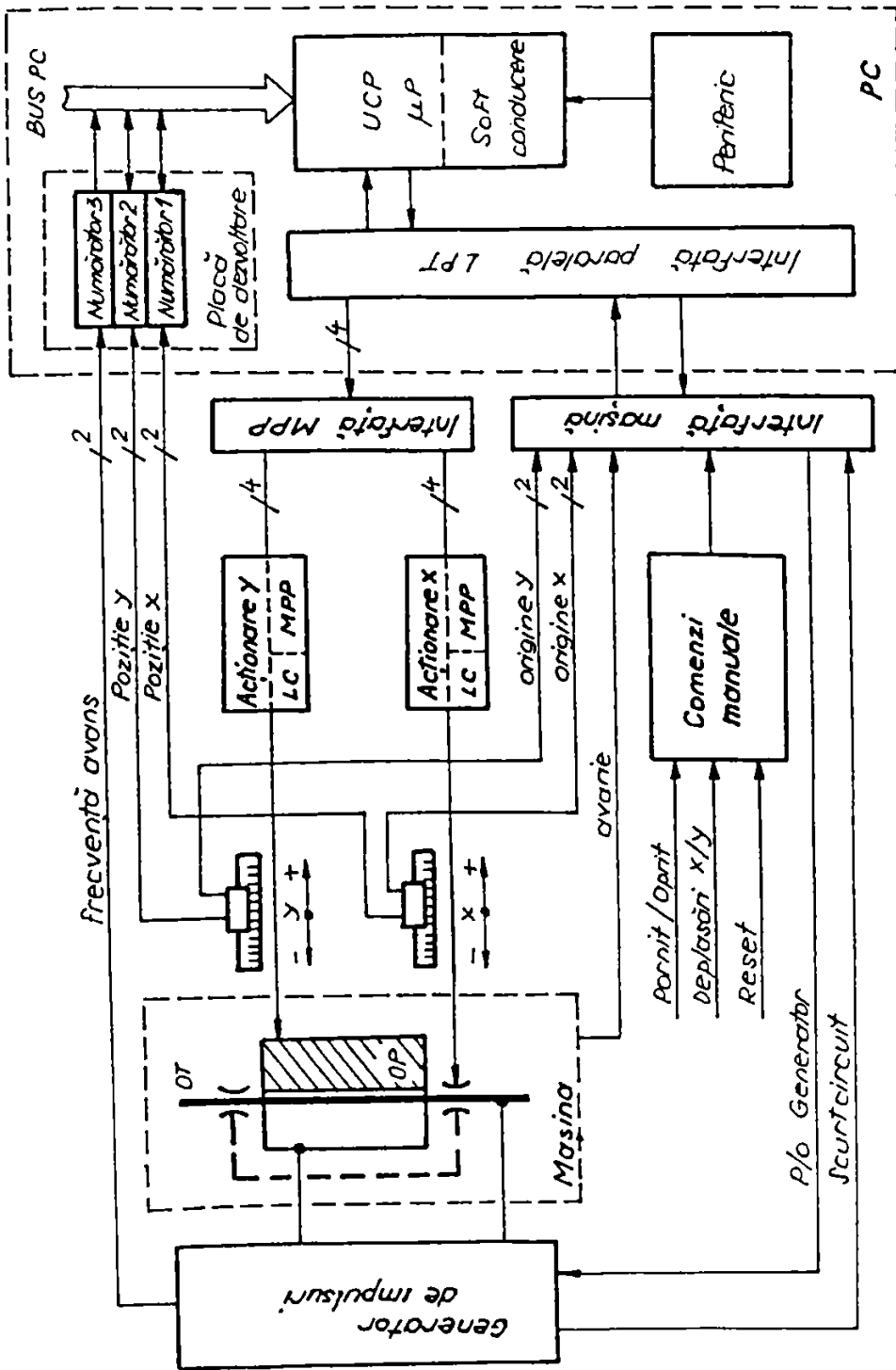


Fig.4.1.2. Schema de interfatare PC - ELEROFIL 10.

- o linie de iesire de 1 bit pentru comanda (oprire/pornire) generatorului de impulsuri, in concordanta cu derularea programului (exista momente stricte in care trebuie oprit generatorul, de exemplu la aparitia unei avarii, la terminarea prelucrării);

- o linie de intrare de 1 bit pentru comunicarea catre calculator a aparitiei unui scurtcircuit in interstitiu;

- o linie de intrare de 4 biti, reprezentand comenzi de deplasari manuale pe cate o axa ($x+$, $x-$, $y+$, $y-$), cu viteza variabila, prescrisa la pupitrul de comanda al masinii.

2. Canale de intrare aferente Informatiilor care se vehiculeaza prin intermediul placii de dezvoltare, atasate calculatorului. Acesta contine in esenta trei numaratoare reversibile pe 32 de biti, utilizarea canalelor (numaratoarelor) facandu-se in modul urmator:

- doua canale a cata doi biti pentru preluarea informatiilor de la cele doua traductoare numeric incrementale liniare, aferente axelor x si y . Fiecare dintre aceste doua traductoare genereaza doua trenuri de impulsuri A si B defazate intre ele la 90 grade electrice, care ofera posibilitatea sesizarii deplasării si a sensului acesteia. Ca urmare, numaratorul aferent unui canal va contine la un moment dat valoarea deplasării pe axa, respectiv pozitia fata de o referinta initiala.

-un canal de 1 bit prin care se transmite un tren de impulsuri de la generator, prin care se comanda avansul in acord cu desfasurarea procesului de prelucrare. Continutul numaratorului este citit (soft) periodic, existenta unei diferente intre doua citiri succesive reprezentand conditia de continuare a miscării de avans, respectiv a procesului tehnologic.

4.2. Structura hard a sistemului de comanda.

Calculatorul PC, in configuratie standard nu este destinat conducerii in timp real a proceselor industriale. Pentru a-l face apt indeplinirii unor asemenea sarcini, solutia fezabila consta in utilizarea unor resurse hard suplimentare avand urmatoarele roluri:

- asigurarea gestionarii in timp real a semnalelor de dialog calculator - masina;

- adaptarea parametrilor semnalelor de intrare/iesire la caracteristicile circuitelor (nivel de tensiune/putere, forma, durata etc.);

- degrevarea calculatorului de necesitatea efectuarii unor operatii simple (numarare, memorare, multiplexare/demultiplexare), care consuma timp si conduc la intarzieri nedorite in furnizarea semnalelor de comanda catre echipamentul condus.

Pentru cazul de fata, cercetarile au condus la necesitate utilizarii a doua interfete suplimentare, si anume:

1. - o placa de dezvoltare, specializata pe gestionarea semnalelor traductoarelor de deplasare;

2. - o interfata hard specializata (denumita in continuare interfata masina) destinata in principal adaptarii de putere ale semnalelor si multiplexarii acestora in scopul minimizarii numarului canalelor de dialog calculator - masina.

4.2.1. Placa de dezvoltare.

Placa de dezvoltare este realizata in jurul unor circuite specializate pentru citirea semnalelor furnizate de traductorii de deplasare (pozitie). Traductorii utilizati la masina ELEROFIL 10 sunt de tipul traductorilor incrementali numerici liniari. Prelucrarea semnalelor generate de acestia (semnalele A si B - trenuri de impulsuri dreptunghiulare decalate la 90 de grade) se face prin circuite de interfata de tipul TCHT12024, 12016 produse de Texas Instruments. (fig.4.2.1). Acest circuit este programabil, avand mai multe posibilitati de lucru selectabile prin valorile aplicabile pinilor M1,M2,M3.

Tabelul 4.2.1. Programarea circuitului TCHT12024

Mod	M2	M1	M0	Functii realizate
0	0	0	0	numarator bidirectional pe 16 biti
1	0	0	1	numarator simplu sincronizat cu A si determinare directie (sens)
2	0	1	0	idem, dar sincronizare cu B
3	0	1	1	numarator cu dublarea rezolutiei sincron cu A si determinare sens
4	1	0	0	idem, dar sincronizare cu B
5	1	0	1	numarator cu marirea de patru ori a rezolutiei, sincron cu toate fronturile si determinare sens
6	1	1	0	masurarea duratei unui impuls
7	1	1	1	masurarea frecventei

S-au utilizat cinci asemenea circuite, cate doua (deci patru octeti disponibili) pentru numararea impulsurilor primite de la traductorii de pozitie aferenti celor doua axe, si unul pentru gestionarea impulsurilor primite de la generator.

Adresele utilizate pentru porturile respective, conform interfatarii cu magistrala calculatorului sunt prezentate in tabelul 4.2.2.

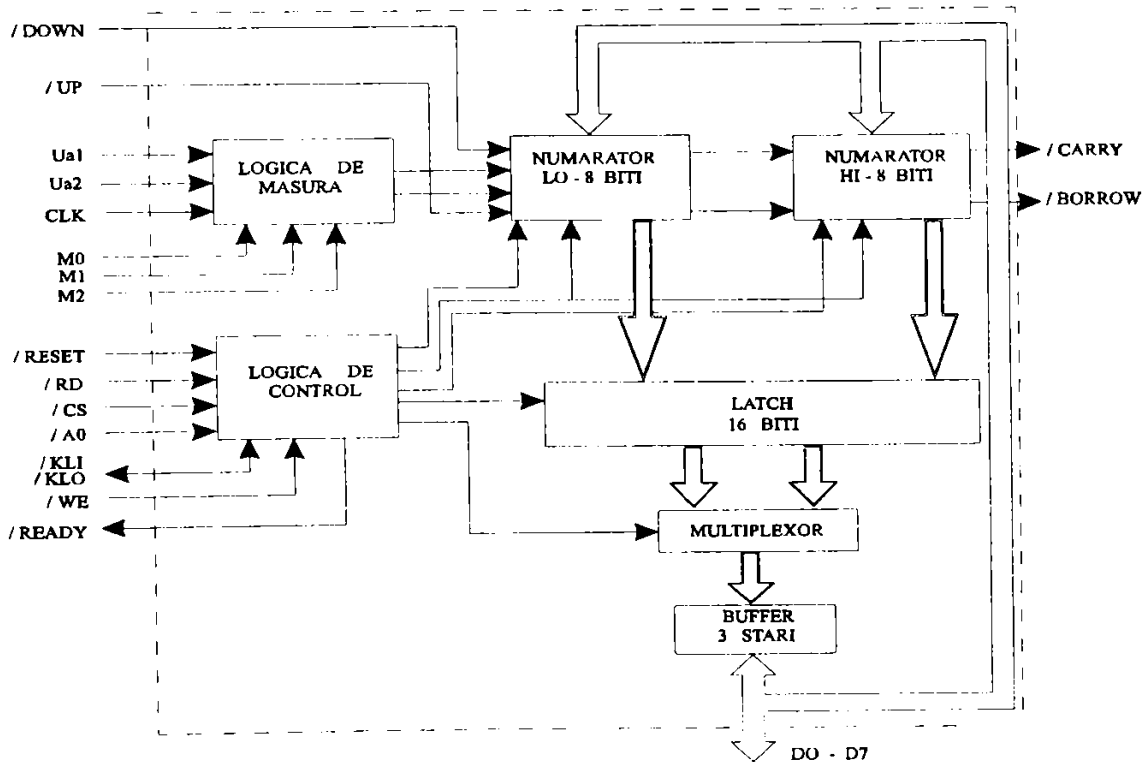


Fig. 4.2.1. Schema bloc a circuitului TCHT 12024, 12016.

Tabelul 4.2.2. Adrese porturilor pentru circuitele TCHT12024.

Functia	msb1	lsb1	msb2	lsb2
axa1 (x)	04h	05h	0eh	0fh
axa2 (y)	08h	09h	0ah	0bh
axa3	0ch	0dh	-	-

Pastrarea ordinii de citire a celor patru octeti care compun valoarea pozitiei pe o axa este esentiala; in cadrul aplicatiei prezentate s-a optat pentru combinatia:

lsb1 lsb2 msb1 msb2

Programul care face citirea traductorilor, incarcarea porturilor circuitului si asamblarea (compunerea) valorilor citite in scopul obtinerii pozitiei curente este prezentat in anexa A.

4.2.2. Interfata masina.

4.2.2.1. Semnale si functii logice.

In afara achizitiilor de date realizate prin intermediul placii de dezvoltare, intre PC si masina trebuie sa se asigure transferul unor date avand urmatoarele destinatii:

a. - de la PC spre echipament:

- comanda avansului, concretizata prin semnalele de tact si sens Tx, Ty, Sx, Sy, aplicate circuitelor de comanda ale MPP. Aceste semnale sunt generate de catre PC, in regimurile de prelucrare dupa program, respectiv de manevre de la tastatura;

- cuplarea / decuplarea generatorului de impulsuri, functie de program si starea procesului (ex. aparitia unei avarii);

b. - de la echipament spre PC:

- semnal pentru efectuarea avansului;

- aparitia unui scurtcircuit (in prelucrare);

- semnalizarea unei avarii;

- semnalizarea centrarii pe axele x sau y (in regimul de manevre).

In plus, s-a implementat hard posibilitatea efectuarii positionarilor pe cele doua axe si de la pupitrul de comanda al masinii.

In tabelul 4.2 3. sunt prezentate semnalele logice care intervin in dialogul PC - masina si se regasesc in comenzile transmise echipamentului.

Functiile logice pentru semnalele de tact si sens sunt:

$$Tx = x1 (x2 x3 + \overline{x2} x5 x7) + \overline{x1} x3 = \overline{\overline{(a x3)} (c x7) (x1 x3)} \quad (4.2.1)$$

$$Ty = x1 (x2 x4 + \overline{x2} x5 x9) + \overline{x1} x4 = \overline{\overline{(a x4)} (c x9) (x1 x4)} \quad (4.2.2)$$

$$Sx = x1 (x2 x10 + \overline{x2} x6) + \overline{x1} x10 = \overline{\overline{(a x10)} (b x6) (x1 x10)} \quad (4.2.3)$$

$$S_y = x_1 (x_1 x_{11} + \bar{x}_2 x_8) + \bar{x}_1 x_{11} = \overline{(a x_{11}) (b x_8) (\bar{x}_1 x_{11})} \quad (4.2.4)$$

unde: $a = x_1 x_2$ $b = x_1 \bar{x}_2$ $c = x_1 \bar{x}_2 x_5$

Tabel 4.2.3. Semnalele logice din interfata masina.

Simbol semnal	Semnificatie	Sursa semnalului	Observatii
x1	precizare regim	LPT pin 14	"1" - manevre "0" - prelucrare
x2	indica sursa de comanda	LPT pin 17	"1" - tastatura "0" - masina
x3	tact pe axa X	LPT pin 8	generat soft
x4	tact pe axa Y	LPT pin 9	generat soft
x5	viteza	oscilator intern pe interfata masina	generat hard
x6	deplasare X+	butoane de comanda pe pupitrul masinii	comenzi manuale
x7	deplasare X-		
x8	deplasare Y+		
x9	deplasare Y-		
x10	sens pe X	LPT pin 6	generat soft
x11	sens pe Y	LPT pin 7	generat soft
xp	conturare	LPT pin5	"1" - desenare "2" - prelucrare
sincro	semnal avans	interfata masina	
av	avarie	masina	generat hard
i	cerere intrerupere	interfata masina	generat hard
r	reset	LPT pin 1	generat soft
g	cuplare generator	LPT pin 16	generat soft
Nlx	referinta axa X	Traductor de pozitie X	
Nly	referinta axaY	Traductor de pozitie Y	

Cererea de intrerupere, in cazul avariei sau a centrarii este generata de functia:

$$i = x1 (Nlx + Nly) + \overline{x1} av = \overline{(x1 Nlx)} \overline{(x1 Nly)} \overline{(x1 av)} \quad (4.2.5)$$

Comanda avansului este generata de:

$$sincro = xp \sin 1 + \overline{xp} \sin 2 \quad (4.2.6)$$

unde: $\sin 1$ - semnal de la generator, $\sin 2$ - semnal de la pupitru.

4.2.2.2. Implementare hard.

Pentru implementarea hard a functiilor logice prezentate la paragraful 4.2.2.1. au fost proiectate circuite combinacionale cu circuite integrate logice TTL si C-MOS. Intre interfata masina si generatorul de impulsuri s-a realizat o separare galvanica prin optocuploare. respectiv relee intermediare. Schema electrica a interfetei este prezentata in fig.4.2.2.

4.3. Structura programelor de conducere numerica.

4.3.1. Structura soft a sistemului de comanda.

Pentru ca structura hard a sistemului CNC care echipeaza masina ELEROFIL 10, prezentata in fig.4.1.2 sa fie operationala, este necesara prezenta unui soft de conducere a procesului de prelucrare, respectiv a masinii. In general, prelucrarea pe masini-unelte comandate prin CNC se desfasoara dupa schema prezentata in fig.4.3.1.

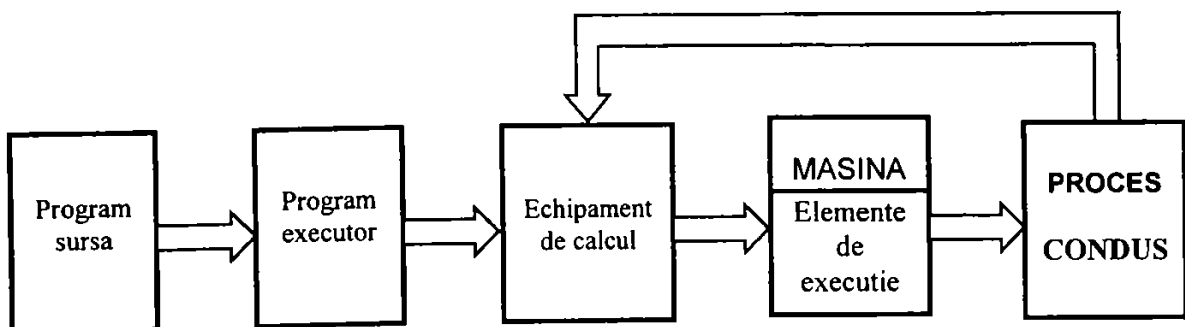


Fig. 4.3.1. Schema prelucrarii pe masini-unelte echipate cu sisteme CNC.

Softul de conducere contine doua categorii de programe:

- i. - programul (programele) executor, care asigura comanda in timp real a procesului de prelucrare, prin echipamentul de calcul interfatat cu masina;
- ii.- programul sursa sau piesa (care contine informatiile geometrice si tehnologice necesare generarii suprafetei piesei).

4.3.2. Structura programului executor.

Rolul principal al programului executor este acela de a genera urmatoarele categorii de comenzi, executabile de catre elementele de executie ale masinii:

1. - deplasari continue sau incrementale, pe traiectorii comandate manual de catre operator (comanda/regim "manual");
2. - deplasari , comandate prin program, pe traiectorii si cu viteza prescrise, fara prelucrare (regim de "desenare");
3. - deplasari cu prelucrare, pe traiectorii comandate prin program, cu viteza adaptata vitezei de prelucrare si cu controlul permanent al starii procesului, respectiv a masinii (regim de "prelucrare).

Selectia regimurilor se face de catre operator, prin meniul afisat pe display.

In toate situatiile, programul asigura gestionarea informatiilor de deplasareale organelor mobile, respectiv stabileste si afiseaza permanent pozitia absoluta in raport cu originea (setata) a sistemului de coordonate asociat piesei. In regim de prelucrare, PE trebuie sa asigure si urmatoarele actiuni:

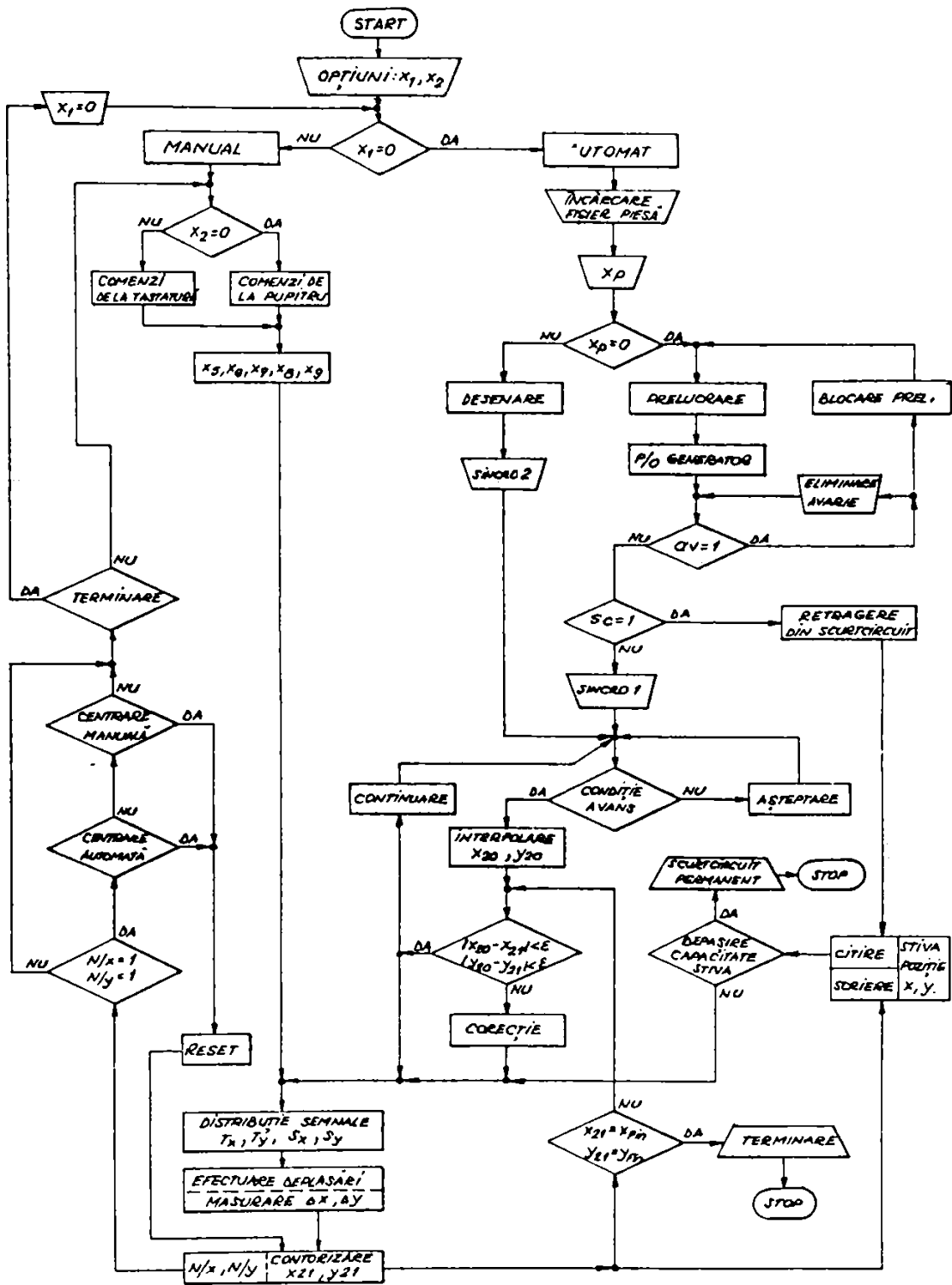
- cuplarea/decuplarea generatorului de impulsuri, in conformitate cu comenzile din PS;
- eliminarea scurtcircuitelor - inerente la prelucrarea prin eroziune electrica;
- oprirea procesului, in conditii de siguranta, la aparitia unor situatii anormale (avarii).

In acord cu aceste roluri, precum si cu structura hard a CNC, programul executor a fost conceput conform arhitecturii prezentate in schema logica din fig.4.3.2. Subrutinele corespunzatoare executarii comenzilor specifice fiecarei etape ale procesului de conducere vor fi prezentate detaliat in paragrafele urmatoare.

4.3.3. Algoritmii utilizati la realizarea interpolatoarelor.

4.3.3.1. Conditii impuse de programul piesa.

Acest program se gaseste intr-un fisier care prin incarcare se ataseaza programului executor. Programul piesa trebuie sa respecte dezideratul ca fisierul de intrare sa se alinieze la standardele internationale de realizare a codurilor



4.3.2. Schema logica de conducere cu CNC a masinii ELEROFIL 10.

pentru comanda masinilor-unelte cu comanda numerica (MUCN). Astfel, setul de programe elaborate trebuie sa decodifice functiile caracteristice de efectuare a interpoalarilor liniare si circulare (G1,G2,G3...) precum si functiile auxiliare (M2, M6, M7...) - pornirea si respectiv oprirea actiunii sculei , identificarea sfirsitului de program....). Consecinta acestei caracteristici generale este posibilitatea de a programa desfasurarea procesului de prelucrare folosind una dintre urmatoarele trei posibilitati:

1. programare manuala - aplicabila numai in cazul unor prelucrari de complexitate redusa;
2. programare asistata de calculator, folosind limbajele dedicate de tipul APT, LIPCON, MASTERCAM, KADY;
3. integrarea standului intr-un sistem CAD/CAM unitar, utilizind pentru partea de proiectare constructiva un program specializat (de exemplu AutoCAD).

Pentru sistemul CNC al masinii ELEROFIL, se intalnesc urmatoarele tipuri de fisiere:

1. - fisiere continand programul executor; acestea sunt scrise in limbaj C++ si se recunosc dupa numele: *NUME_FISIER.exe*;
2. - fisiere cu programul piesa necorectat (cu cotele nominale din desenul de executie); se identifica dupa: *NUME_FISIER.c*; *NUME_FISIER.nci*; etc.
3. - fisier unic continand programul piesa curent corectat, denumit *FPO.txt*.

Scrierea PS s-a facut conform codificarii ISO, in coordonate absolute, pentru dimensiunile nominale ale piesei. Traectoria reala prin parcurgerea careia se obtine piesa la dimensiunile nominale este diferita de cea programata, fiind necesara aplicarea unor corectii, functie de:

- latimea taieturii;
- pozitia suprafetei prelucrate a piesei - interioara sau exterioara.

Corectiile teoretica (k_1) si practica (k_2) se calculeaza cu relatiile:

$$k_1 = t \cdot \left(g + \frac{d_f}{2} \right); \quad (4.3.1)$$

$$k_2 = \left(\frac{t}{2} \right) \cdot (N - E) \quad (4.3.2)$$

in care: g - marimea interstitiului; d_f - diametrul electrodului fir; t - variabila auxiliara, cu valorile: -1 pentru suprafata interioara , +1 pentru suprafata exterioara; N - dimensiunea nominala; E - dimensiunea efectiva.

Pentru automatizarea calculului traiectoriei corectate se utilizeaza un program de calcul al echidistantei, *echidist.exe*. Prin rularea acestuia se genereaza automat fisierul *FPO.txt* care contine frazele necesare executiei corecte a piesei.

4.3.3.2. Selectia algoritmilor.

In literatura [6, 152,153] se intalnesc numerosi algoritmi utilizati la realizarea interpolatoarelor pentru generarea traiectoriilor programate prin programul piesa. Avand in vedere importanta acestora pentru realizarea preciziei positionarilor si traiectoriilor, au fost luati in considerare urmasorii algoritmi:

- algoritmi de tip ADN (analizor diferential numeric);
- algoritmi bazati pe calculul unui discriminant, in functie de semnul caruia se apreciaza pozitia punctului curent al traiectoriei nominale fata de traiectoria reala;
- algoritmul diferentei coordonatelor, bazat pe emiterea de impulsuri pe cele doua axe cu o frecventa comandata dupa o anumita lege;
- algoritmi cu calculul direct al functiei prin metoda octantiilor.

Rezultatele studiului comparativ efectuat intre diferiti algoritmi disponibili au indicat drept optim algoritmul bazat pe calculul unui discriminant, care a stat la baza realizarii interpolatoarelor pentru traiectoriile liniare si circulare.

4.3.3.3. Interpolarea liniara

Fundamentul acestui algoritm este calculul unui discriminant D adecvat, al carui semn precizeaza pozitia punctului curent al traiectoriei fata de conturul nominal de prelucrat.

Schema de principiu este prezentata in fig. 4.3.3 in care s-au utilizat aceleasi notatii cu cele utilizate in cadrul sursei in limbajul C, prezentate in anexa B:

x_{54} , y_{54} - coordonatele punctului initial (punctul de inceput al interpolarii liniare);

x_{64} , y_{64} - coordonatele punctului final (punctul de sfarsit al interpolarii liniare);

Coeficientul unghiular al dreptei definite astfel prin doua puncte este:

$$panta = \arctg ((y_{64}-y_{54}) / (x_{64} -x_{54})); \quad (4.3.3)$$

Se defineste variabila suplimentara sm care are valoarea:

1 - in cazul in care $panta < 0$, corespunzand unghiului cu valori in intervalul $[90, 180]$ grade;

-1 - in cazul in care $panta \geq 0$, corespunzand unghiului cu valori cuprinse in intervalul $[0, 90]$ grade;

Se considera un punct

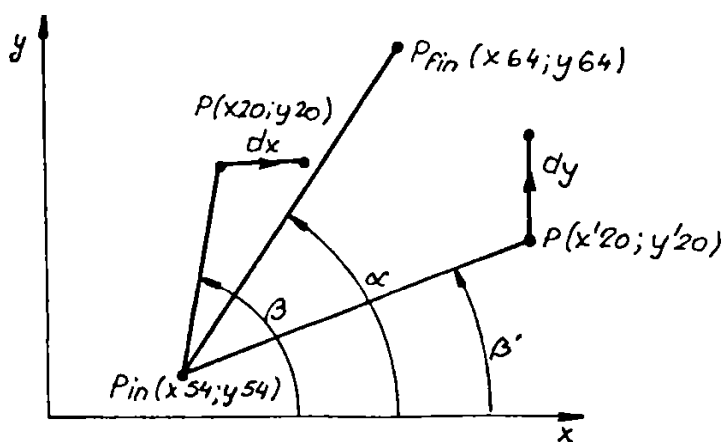


Fig.4.3.3. Schema interpolarii liniare.

..... P ,
 x_{20} , y_{20} , urmarindu-se determinarea pozitiei acestuia fata de segmentul $P_{in}P_{fin}$; se poate defini un nou segment de dreapta $P_{in}P$, al carui coeficient unghiular m este definit de relatia:

$$m = \arctg ((y_{20} - y_{54})/(x_{20} -x_{54})) \quad (4.3.4)$$

Mecanismul interpolarii liniare impune testarea continua a pozitiei punctului P si corectarea pozitiei sale cu pasi astfel determinati incat sa se asigure readucerea pe segmentul nominal P_{in}, P_{fin} . In cazul punctului P , aceasta readucere se face prin intermediul unui segment dx paralel cu axa x ; pentru comparatie se prezinta pe aceeasi figura cazul unei pozitii P' , la care readucerea pe segmentul $P_{in}P_{fin}$ se face prin intermediul unui segment dy , paralel cu axa y .

A fost necesar sa se determine un criteriu de apreciere a necesitatii de a se face corectia pe axa x sau axa y ;

Acesta este discriminantul :

$$\delta = sm * ((x_{64}-x_{54}) * (y_{20}-y_{54}) - (y_{64}-y_{54}) * (x_{20}-x_{54})); \quad (4.3.5)$$

In cazurile in care $\delta > 0$ sau segmentul de interpolare este paralel cu axa y , se comanda efectuarea unui pas pe axa y , in caz contrar efectuandu-se un pas pe axa x .

Observatie: Sensul miscarii se determina aprioric lansarii algoritmului de interpolare prin setarea unor variabile de sens, aferente celor doua axe, si anume:

$se1=1$ pentru $x54 < x64$ si $se1=-1$ in caz contrar
 $se2=1$ pentru $y54 < y64$ si $se2=-1$ in caz contrar

4.3.3.4. Interpolarea circulara

Problema este asemanatoare cu interpolarea liniara, dar in aceasta situatie trebuie utilizat un alt criteriu care sa determine conditia de efectuare a unui pas pe axa x sau axa y . Criteriul folosit va fi comparatia distantei de la punctul studiat la centrul cercului cu raza acestuia (fig.4.3.4):

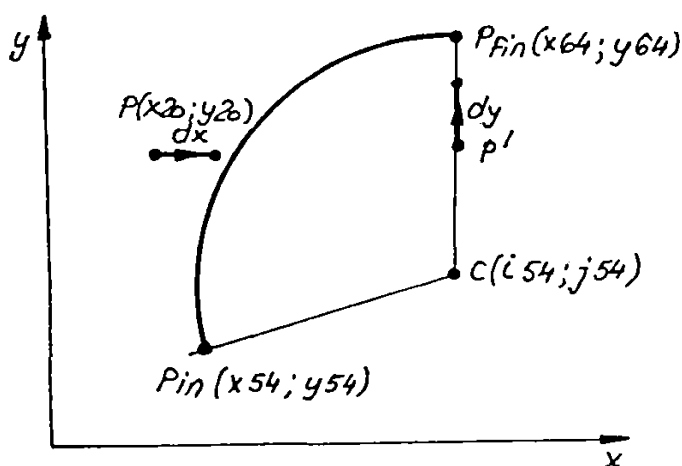


Fig. 4.3.4. Schema interpolarii circulare

-astfel in cazul punctului $P(x20; y20)$, distanta PC este mai mare decat raza cercului, i... punandu-se efectuarea unui pas de corectie dx paralel cu axa x ;

-in cazul punctului P' , distanta sa pana la centrul C al cercului este mai mica decat raza, si in aceasta situatie se impune efectuarea unui pas de

corectie dy paralel cu axa y ;

Aceste rationamente au condus la determinarea urmatoarei expresii pentru discriminatul δ :

$$\delta = ((x20-i54)*(x20-i54)-(x54-i54)*(x54-i54) + (y20-j54)*(y20-j54)-(y54-j54)*(y54-j54)) * \text{cadran}; \quad (4.3.6)$$

Interpretarea semnului lui δ este identica cu situatia interpolarii liniare.

In anexa B este listat continutul programului C++ care implementeaza algoritmii de interpolare liniara si circulara.

4.4. Arhitectura programelor de comanda.

4.4.1 Algoritmul de conducere a avansului

Avansul tehnologic, la prelucrarea prin eroziune electrica asigura continuitatea procesului de prelevare si conditioneaza marimea productivitatii prelucrarii si grosimea interstitiului. Conform celor prezentate la cap.3, avansul maxim corespunde vitezei de erodare maxime, deci marimii optime a interstitiului. La generatorul ROGIF 20 care este de tipul cu acumulare-relaxare comandat, starea interstitiului este caracterizata prin tensiunea medie a descarcarilor. Aceasta tensiune, este comparata cu o tensiune de referinta fixa (prestabilita constructiv in generator), diferenta reprezentand semnalul de eroare care este folosit pentru comanda avansului. Masina fiind echipata cu un sistem CNC care functioneaza cu semnale discrete, semnalul de eroare este convertit - printr-un convertor tensiune-frecventa - intr-un tren de impulsuri de nivel logic TTL, informatia fiind continuta in frecventa impulsurilor. La aparitia in proces a unui scurtcircuit, trenul de impulsuri este suprimat si se emite - tot din generator - un semnal logic corespunzator acestei situatii. Prin urmare, comanda avansului se executa diferit, functie de starea procesului de prelucrare.

4.4.1.1. Comanda miscarii de avans

In cadrul algoritmului elaborat, trenul de impulsuri furnizat de generator ataca intrarea unui numarator; starea acestui numarator este citita periodic in cadrul programului cu instructiuni C de tipul:

```
nou = inport (ADRESA_BAZA+deplasament);
```

in care *ADRESA_BAZA* este adresa vazuta de calculator pentru placa de dezvoltare care contine numaratorul, iar *deplasamentul* este adresa registrului component al numaratorului .

Valoarea variabilei *nou* (inteaaga) este comparata cu valoarea ultimei citiri (variabila *vechi*) si se valideaza efectuarea in continuare a avansului numai in situatia in care exista diferenta *nou* # *vechi* pintr-o instructiune de tipul:

```
if (nou != vechi)
```

{ se desfasoara miscarea de avans }

Este evident ca in lipsa impulsurilor de la generator inregistrate intre doua citiri succesive nu se poate desfasura in continuare miscarea de avans. In acest caz se intra intr-o bucla de asteptare cu testarea in continuare a starii numaratorului.

S-au cercetat doua posibilitati de comanda a motoarelor pas cu pas, corespunzator variantelor 2 si 3 prezentate in tabelul 4.1.1.

I. Cu utilizarea configuratiei existente din constructie pentru actionarea MPP. Acesta varianta a fost abandonata pe parcursul lucrarilor deoarece motoarele pas cu pas care echipau masina precum si actionarile aferente erau depasite moral si fizic si nu mai prezentau interes practic. Actionarile foloseau pentru generarea secventelor de alimentare a fazelor MPP informatiile stocate intr-o memorie EPROM, de unde erau extrase prin adresare secventiala printr-un cuvint pe 8 biti (cate patru pentru fiecare actionare), in conformitate cu programul de comanda a avansului.

II. Comanda directa a convertoarelor de putere pentru MPP. In acest caz, dupa cum s-a precizat in paragraful 4.1.2, semioctetul necesar pentru comanda convertorului are urmatoarea componenta:

- bit 0 - s_x = avansul pe axa x, egal cu "1" logic pentru sens pozitiv si "0" logic pentru sens negativ;
- bit 1 - s_y = avansul pe y cu aceasi codificare;
- bit 2 - t_x = tactul pe axa x, valoarea 1 reprezentand palier la nivelul "1" logic, iar valoarea 0 palier la nivelul "0" logic;
- bit 3 - t_y = tactul pe axa y, cu aceeasi semnificatie.

Conform acestei codificari, miscarea pe axa y^+ presupune urmatoarea succesiune de semiocteti transmisi spre convertor:

```
outport ( o | 0x60 & 0x7f);  
push1 (o & 0xdf);  
outport (0 & 0xdf);  
outport ( o | 0x60 & 0x7f);  
push1 (o & 0xdf);  
outport (0 & 0xdf)
```

.....

S-a notat cu o valoarea curenta a octetului, asupra caruia se efectueaza operatii logice la nivel de bit inainte de transmiterea datelor spre convertor. In acest mod sunt setati numai bitii care intereseaza, ceilalti nefiind afectati. Astfel, la primul outport s-au utilizat doua etape:

-SAU logic cu $0x60 = 0110\ 0000$ cu efect de setare pe 1 a lui s_y semnificand alegerea sensului + pe y si de asemenea $t_x=1$ cu rol de a inhiba un eventual tact nedorit pe axa x ;

-etapa doua, corespunzand unui SI logic cu $0x7f=0111\ 1111$, cu efect de fortare $t_y=0$ corespunzatoare primului front al unui tact;

A doua instructiune este *push1* ($o \& 0xdf$); prin acesta se incarca in stiva 1 (al carui rol este in tratarea retragerii din scurtcircuit) octetul curent, dupa efectuarea functiei SI logic cu $0xdf= 1101\ 1111$.

4.4.1.2. Retragera din scurtcircuit

Prezenta unui scurtcircuit este detectata prin interogarea unui bit (deci efectuarea unui pooling) care corespunde canalului prin care se vehiculeaza informatia corespunzatoare scurtcircuitului si care este adus la unul din registrele componente ale interfetei paralele LPT a calculatorului. Ciclul de retragere din scurtcircuit are urmatoarea transcriere in cod sursa C:

```
while (scurt !=)0 {  
    scurt = (( inport(0x379) & (0x80))  
            defasurare avans  
            .....  
}
```

Specific prelucrării prin eroziune electrica cu electrod filiform este faptul ca in cazul retragerii din scurtcircuit traiectoria parcursa trebuie sa fie identica cu cea urmarita in cazul miscarii anterioare de avans. Solutia adoptata pentru rezolvarea acestei cerinte consta in salvarea intr-o stiva a codurilor tuturor pasilor efectuati la miscarea de avans. Succesiunea de instructiuni in cazul comandarii directe a convertoarelor de putere este urmatoarea:

*f2=pop1(); extragerea din stiva creata la miscarea de avans,
urmata de transmiterea octetului spre convertorul de putere;*

outport(adr,f2);

*push2(f2^0x30); salvarea intr-o a doua stiva a octetului transmis, dar
cu complementarea bitilor corespunzatori lui sx si sy.*

Aceasta s-a realizat prin aplicarea functiei SAU EXCLUSIV si folosirea unei masti 0x30=0011 0000, bitii 4 si 5 fiind complementati, iar restul ramanand neschimbati;

*f2=pop1(); urmeaza al doilea grup de trei instructiuni corespunzatoare
celui de-al doilea front component al unui tact;*

outport(adr,f2);

push2(f2^0x30);

4.4.1.3. Revenirea in situatii speciale.

Scurtcircuitul poate aparea in orice moment si retragerea nu trebuie sa fie conditionata de starea rularii programului de comanda a traiectoriei conform informatiilor din programul piesa. Astfel, retragerea in urma unui scurtcircuit poate genera situatia nedorita de a se reveni in fraza precedenta din programul piesa. In cazul multor echipamente de comanda numerica traditionale o asemenea situatie conduce la blocare sau la erori inadmisibile. Un asemenea caz este detectat in program prin valoarea negativa atribuita unui indice global *i1p*. Algoritmul este urmatorul:

```
while (i1p<0) {  
    f2=pop2();  
    outport(adr, f2);    extragere din stiva creata la deplasarea in cazul  
                        scurtcircuitului si trimiterea spre convertor a  
                        primului front component al tactului;  
    f2=pop2();  
    outport(adr,f2);    }
```

.....

4.4.2. Variante de utilizare

Din considerente de utilizare industrială s-au impus patru posibilități de lucru:

- a. - prelucrare propriu-zisă - în care se comandă elementele de execuție avansul fiind stabilit adaptiv în funcție de desfășurarea procesului;
- b. - conturare fără tăiere, în care caz avansul este comandat printr-un generator de impulsuri separat; diferența față de regimul de desenare constă în gestionarea pozițiilor parcurse succesiv prin intermediul stivelor de poziție.
- c. - desenare - caz în care comanda se realizează cu un avans constant ; se utilizează pentru verificarea în regim de comandă utilaj a programului;
- d. - verificare - situație în care nu se comandă efectiv utilajul ci numai desenarea pe displayul calculatorului.

Din punct de vedere soft diferențierea între cele patru variante se realizează prin utilizarea unor variabile întregi astfel:

-variabila *timp* care are valoare 0 în cazul desenării și vizualizării și o valoare întreagă pozitivă în cazul prelucrării propriu-zise; ea se determină în corelație cu structura hard a blocului de avans specific generatorului;

-variabila *syncro* egală cu 0 în cazul prelucrării propriu-zise și egală cu 1 în celelalte situații; aceasta apare în cadrul instrucțiunii:

$$nou = vechi + syncro;$$

în care *nou* și *vechi* sunt continuturile actual și anterior ale registrului numărator de impulsuri primite de la generator;

-variabila *scurt* = 0 în cazul desenării și vizualizării.

4.4.3. Corectia de traiectorie.

Datorită lucrului în buclă închisă de poziție se pune problema de a efectua reglajul de poziție conform legilor specifice reglării automate, prin comparația poziției prescrise cu cea reală; problema se încadrează în teoria generală a sistemelor de reglare automată, sistemul prezentat făcând parte din categoria sistemelor de reglare automată numerice (SRAN); Conform teoriei SRAN trebuie determinate două elemente specifice reglajului numeric:

1. - legea de reglare;
2. - timpul de esanționare *te* .

a) Legea de reglare.

Dintre variantele posibile s-a optat pentru o lege de reglare neliniara de tip tripozitional, acesta fiind adecvata sistemului de comanda numerica dezvoltat pentru masina ELEROFFIL 10 (fig.4.4.1). Aceasta lege asigura o marime a abaterii intre doua limite $-amax$ si $amax$ impuse de considerente de precizie si stabilitate.

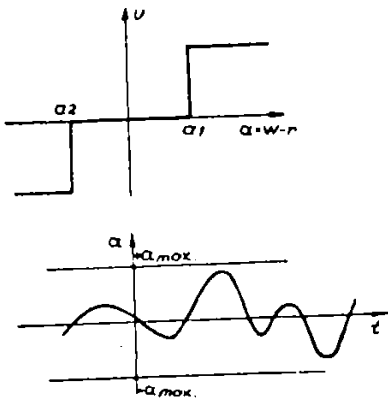


Fig. 4.4.1. Reglarea tripozitionala a pozitiei; a - principiul; b - variatia abaterilor.

In fig. 4.4.2 se prezinta un exemplu de realizare a corectiei de traiectorie in cazul abaterii traiectoriei reale marcate prin punctele B1,B2,...B5..., fata de traiectoria nominala, marcata A1,A2,...A5; perechile de puncte Ak,Bk corespund cate unei esantionari, respectiv unei citiri a traductorului de pozitie. In fiecare situatie se calculeaza erorile :

$$\Delta x = x_{nominal} - x_{efectiv}$$

$$\Delta y = y_{nominal} - y_{efectiv}$$

In situatia in care Δx sau Δy sunt mai mari decat o valoare admisa se efectueaza corectia traiectoriei prin intreruperea algoritmului de interpolare si executarea unui segment de corectie; in fig.4.4.2 s-au prezentat doua situatii:

-in cazul pozitiei A2, Δx_2 si Δy_2 sunt mai mici decat valoarea admisa si desi exista o eroare de traiectorie se admite ca aceasta se incadreaza in zona de toleranta si nu se efectueaza nici o corectie;

-in cazul pozitiei A5, Δx_5 sau Δy_5 sunt mai mari decat eroarea admisa si in consecinta corectia de traiectorie se va manifesta prin executarea segmentului A5A'5 de readucere pe traiectoria nominala, pozitia A'5 fiind la limita identica cu pozitia B5, dar real si segmentul de corectie A5A'5 este insotit de erori.

In programul elaborat segmentul de corectie este tratat ca orice segment care genereaza o interpolare liniara, fiind posibile cele trei faze tehnologice de lucru analizate anterior si anume: miscarea de avans (a), retragerea din scurtcircuit (b), revenirea din scurtcircuit in cazuri speciale (c).

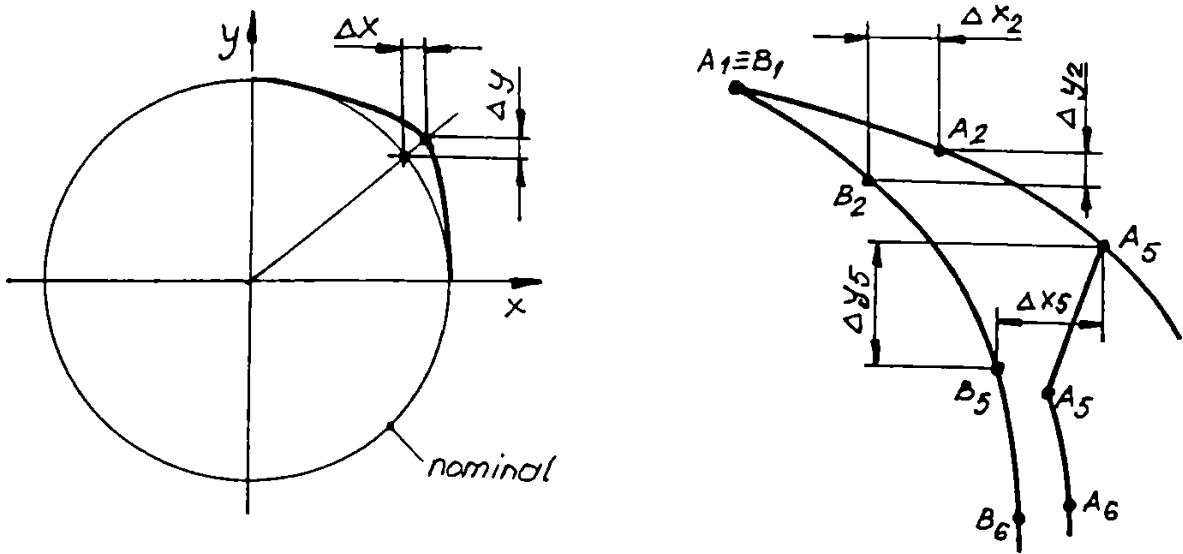


Fig.4.4.2. Corectia abaterii in cazul reglarii tripozitionale.

In cadrul experimentarilor efectuate s-au testat diferite valori ale erorii maxim admisibile a_{max} in domeniul 0.004 - 0.012 mm; o valoare prea mica a erorii admise conduce la o executare prea frecventa a segmentului de corectie generand instabilitatea si scaderea productivitatii procesului de prelucrare.

b) Timpul de esantionare.

Timpul de esantionare t_e reprezinta o caracteristica foarte importanta a sistemelor de reglare numerice, avand o semnificatie deosebita in cazul reglarii pozitiei. Un timp de esantionare prea mic genereaza o buna precizie de deplasare dar scade productivitatea datorita impunerii unui numar mare de segmente de corectie. In cadrul programelor elaborate timpul de esantionare nu are o valoare absoluta, ci este raportat ca un multiplu la numarul de pasi teoretici efectuati. S-au experimentat valori ale lui t_e cuprinse in domeniul:

$$t_e = (100...300) \text{ timpul pe pas elementar (teoretic).}$$

In fig. 4.4.3 este prezentata situatia unei interpolari circulare, masura timpului de esantionare fiind data convertita in marimea unghiului $\Delta\alpha$ la care se efectueaza citirea traductorilor.

Observatie: in faza finala a cercetarilor s-a elaborat un algoritm de corectare a traiectoriei mai performant schematizat in fig. 4.4.4. Astfel in cazul unei interpolari liniare se urmareste realizarea segmentului definit de punctele $P_{in}P_{fin}$; conform timpului de esantionare stabilit se face prima citire a traductorilor de pozitie stabilindu-se pozitia punctului P_1 . Indiferent de abaterea de pozitie a acestuia nu se va mai efectua un segment de corectie ci in continuare interpolatorul va considera de executat segmentul P_1P_{fin} .

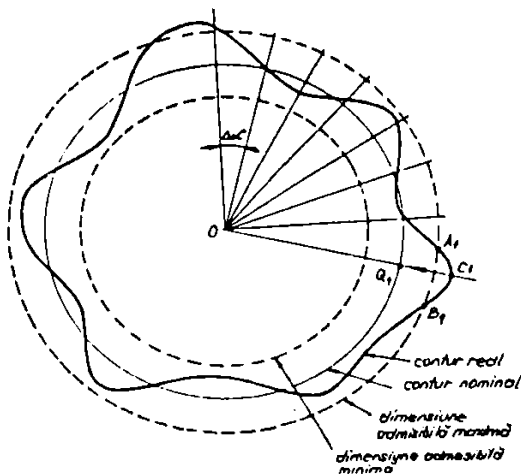


Fig.4.4.3. Influenta timpului de esantionare asupra preciziei de urmarire a traiectoriei.

Simila, interpolatorul va comanda executarea segmentelor $P_2P_{fin}, P_3P_{fin}, \dots$, desi practic se vor executa segmentele: $P_{in}P_1, P_1P_2, P_2P_3, \dots, P_{n-1}P_{fin}$.

In cazul interpolarii circulare, principiul este același cu observatia ca P_1P_{fin}, P_2P_{fin} etc. sunt arce de cerc, cu aceeasi raza ca si $P_{in}P_{fin}$, dar cu centrele avand coordonate diferite, determinate prin calcul.

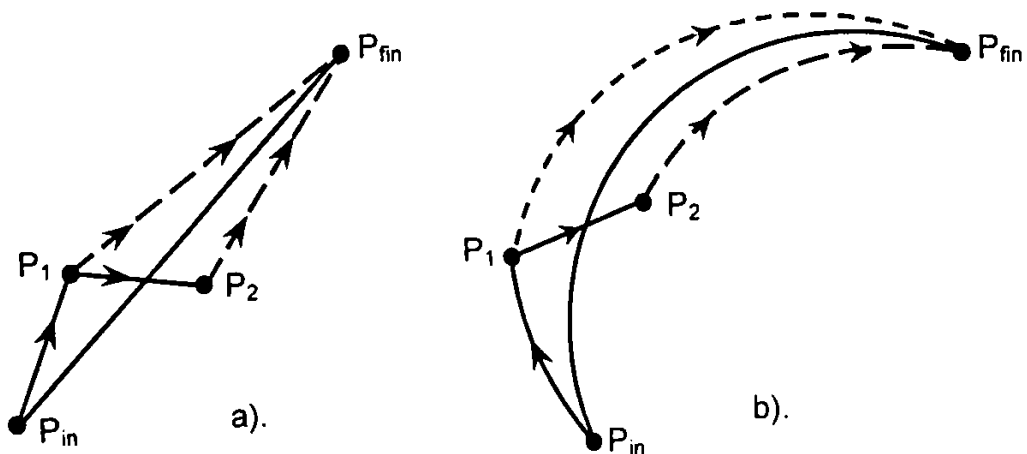


Fig.4.4.4. Principiul algoritmului performant pentru corectia traiectoriei.
a. – pentru interpolare liniara; b – pentru interpolare circulara.

4.4.4. Stivele de pozitie.

Pentru asigurarea preciziei pozitiei o conditie de maxima importanta este gestionarea corecta a pozitiei teoretice, prescrise in generarea unei traiectorii.

Problema abordata in acest caz este total diferita de problema corectarii traiectoriei prin exploatarea informatiilor primite de la traductori, referindu-se practic la corectitudinea conducerii in bucla deschisa. Dificultatea problemei consta in coexistenta celor trei tipuri de miscari: prelucrare propriu-zisa (a), retragere din scurtcircuit (b), revenire dupa scurtcircuit in cazul $i1p < 0$ (c):

Rezolvarea problemei s-a facut prin crearea unui numar de patru stive de pozitie (cate doua pentru fiecare axa x si y), care se gestioneaza in paralel cu stivele de memorare a codurilor transmise spre convertoarele de putere utilizate pentru comanda MPP.

a) prelucrarea propriu-zisa

In aceasta situatie se salveaza succesiv in stivele 3 – pentru coordonata x (fig.4.4.5) si 4 - pentru coordonata y valorile prescrise pentru pozitiile parcurse pe axele x si y . Cele doua stive sunt de tipul circular, in sensul ca dupa salvarea in stiva a unui numar de pozitii (de exemplu 1000), salvarea noilor pozitii se vor face peste cele vechi cu pierderea evidenta a acestora din urma. Simultan are loc incrementarea unui contor teoretic $i1p++$ care supervizeaza generarea teoretica a traiectoriei.

b) retragerea din scurtcircuit

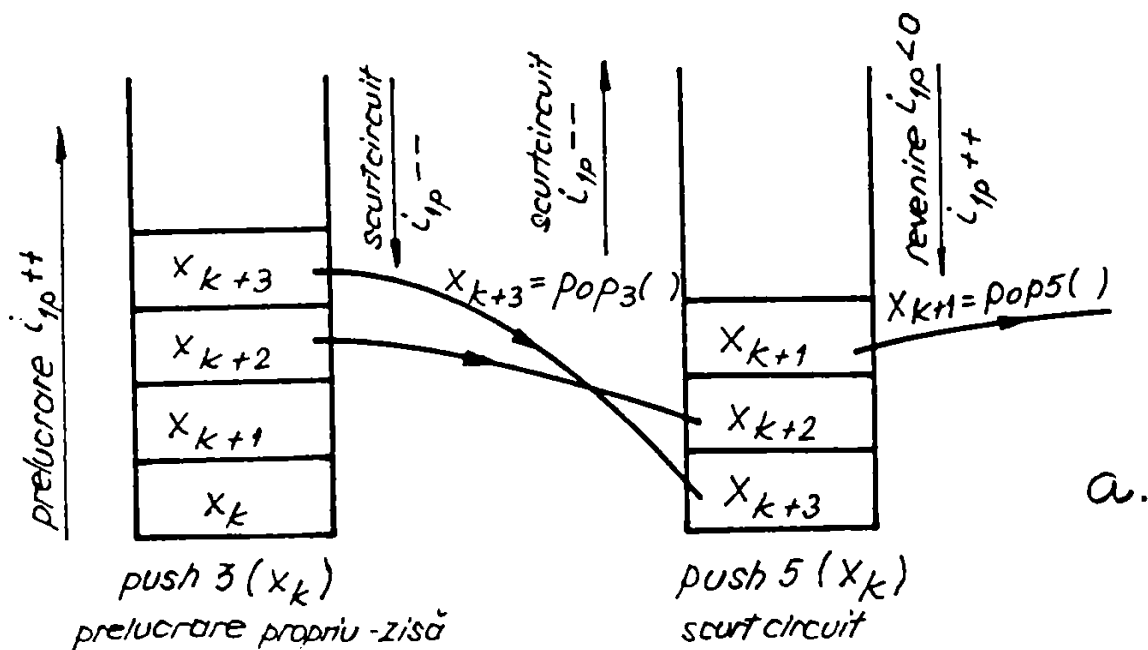
Pentru a se asigura retragerea pe traiectoria de prelucrare (deja parcursa) se realizeaza o extragere a pozitiilor x si pe y din stivele 3 si 4 (create la punctul a), concomitent cu executarea pasilor respectivi si decrementarea contorului global $i1p--$; coordonatele pasilor efectuati sunt salvate in o a doua pereche de stive 5 (pentru x) si 6 (pentru y), care vor fi exploatate la punctul c;

c) revenirea dupa scurt-circuit

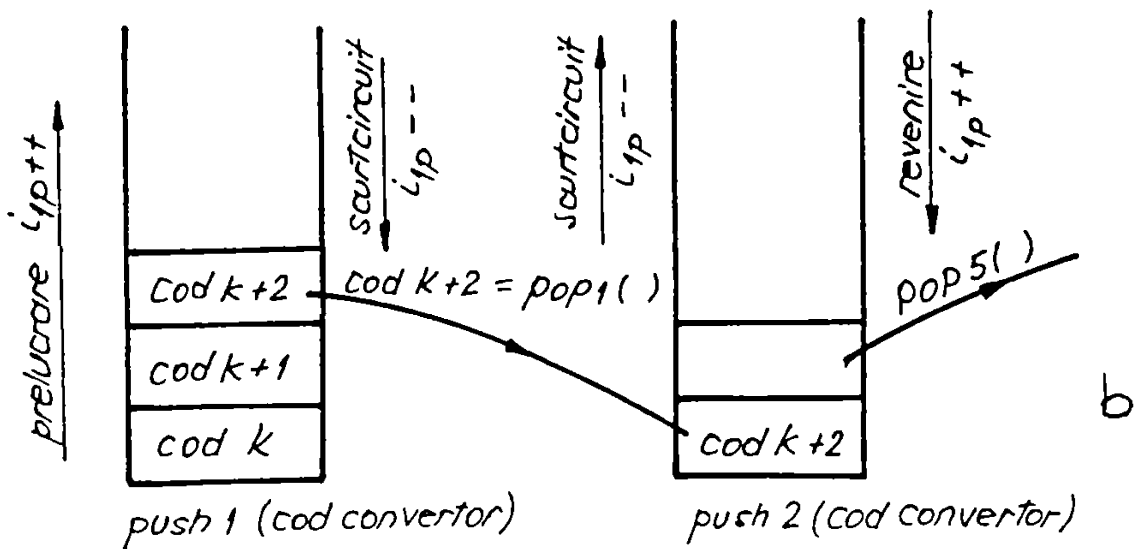
Aceasta etapa este caracterizata prin revenirea pe traiectoria de prelucrare prin extragerea pozitiilor din perechea de stive 5 si 6, create in etapa de scurtcircuit (pct.b). Citirea pozitiilor succesive se realizeaza prin incrementarea variabilei contor $i1p++$.

In fig. 4.4.6 este prezentat un exemplu care concretizeaza miscarile complexe, executate in timpul urmaririi parcurgerii traiectoriei nominale.

Sursa C++ care realizeaza taskurile prezentate in acest paragraf cat si in cel precedent consacrat interpolarii este prezentata in anexa B.



a. Memorarea pozitilor pe axa x



b. Memorarea codurilor transmise convertorului de putere.

Fig. 4.4.5. Utilizarea stivelor de pozitie (a,b).

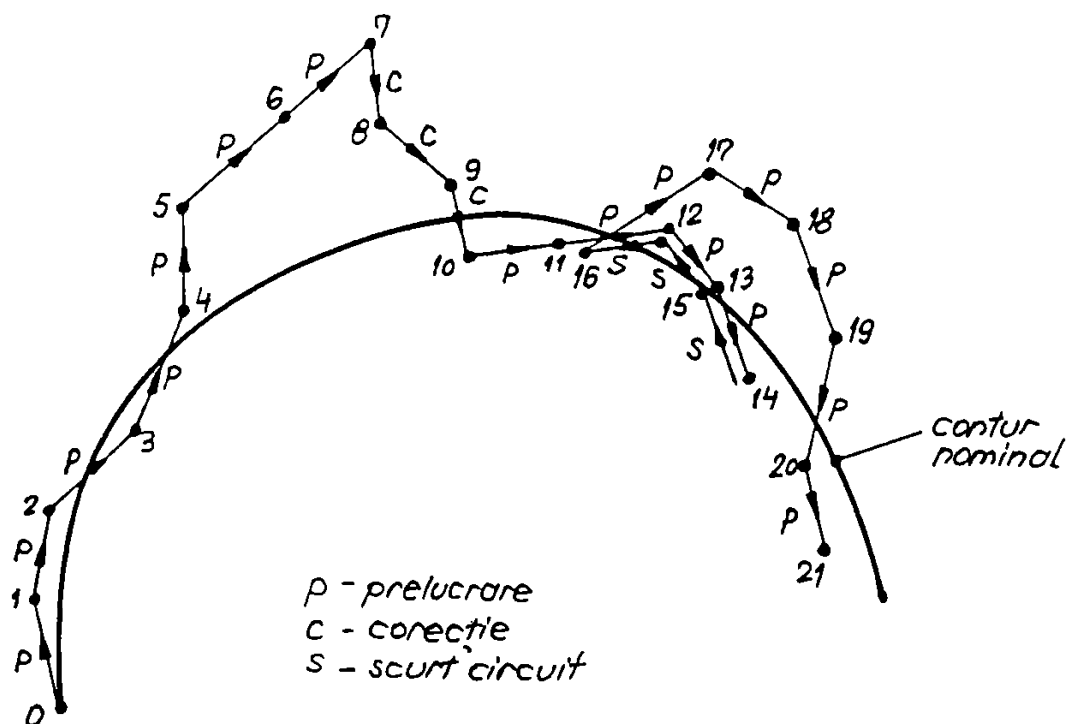


Fig.4.4.6. Parcurgerea reala a traiectoriei programate.

4.5. Algoritmi de comanda manuala a utilajului.

In functionarea unui echipament industrial cu comanda numerica programele de comanda automata au evident un rol prioritar. In exploatare sunt insa necesare si programe de comanda manuala prin care trebuie sa se asigure executarea urmatoarelor comenzi:

- apropierile rapide din pozitia curenta in pozitia convenabila de start a programului principal;

- cautarea punctului *OM* (origine masina sau fix punct); acesta poate fi unic pentru un utilaj dat (un singur impuls index pe fiecare axa, numit uzual *nulimpuls*), sau pot exista mai multe impulsuri index decalate (ex. la fiecare 10 mm);

- centrarea piesei, echivaland cu resetarea numaratoarelor (punerea pe 0) care contorizeaza pozitiile pe cele doua axe.

Din punct de vedere al operatorului exista doua strategii de lucru:

- 1.- la inceperea lucrului se repereaza *OM*, odata cu aceasta punandu-se pe 0 numaratoarele pe cele doua axe. Apoi se cauta punctul *OP* (zero piesa)

(fig.4.5.1) utilizandu-se diferite metode specifice tehnicilor de centrare (utilizarea palarii "electrice" sau a palarii mecanice in corelatie cu afisajele pozitiei curente fata de OM etc.). In momentul reperarii OP operatorul actioneaza o tasta a calculatorului generand astfel doua actiuni:

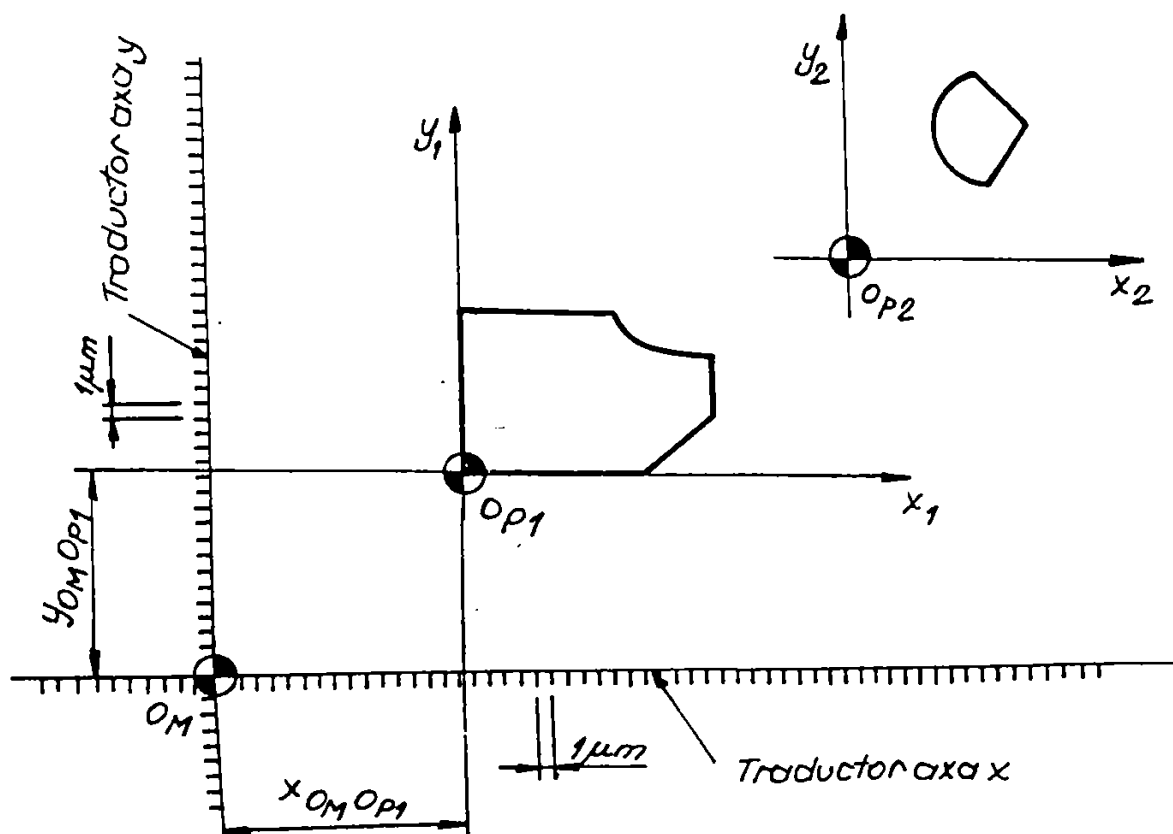


Fig.4.5.1. Stabilirea originilor sistemului de coordonate asociate pieselor.

-resetarea celor doua numaratoare. Din acest moment, orice comanda de deplasare/pozitionare va fi interpretata fata de noul 0;

-salvarea pe hard-disc a distantelor $XOPOM$ si $YOMOP$. Aceasta salvare este utila (chiar indispensabila) in cazul unor intreruperi accidentale ale tensiunii, facand posibila reluarea lucrului fara repetarea operatiei de centrare, care in general este o operatie dificila si de durata. De asemenea cele doua valori pot fi folosite in cazul prelucrarii unui lot de piese.

b) la inceperea lucrului se efectueaza prima data centrarea fata de piesa (deci reperarea OP) si punerea numaratoarelor la 0; apoi se cauta OM - fara resetarea numaratoarelor, notandu-se (de catre operator) distantele $XOPOM$ si

YOPOM, date care pot fi utilizate in situatii de intrerupere (accidentala sau voluntara) a prelucrarii.

Sursa C++ care realizeaza taskurile mentionate anterior este prezentata in anexa C.

4.6. Utilizarea sistemului de intreruperi.

Particularitatile procesului de prelucrare prin eroziune electrica cu electrod filiform au impus utilizarea sistemului de intreruperi ale calculatorului compatibil IBM PC pentru tratarea anumitor evenimente aleatoare cu implicatii deosebite asupra procesului de prelucrare.

Arhitecturile programelor de comanda manuala si automata prezinta similitudini care justifica tratarea unitara a intreruperilor in cele doua situatii distincte, in prezenta urmatoarelor aspecte comune:

Controlerul de intreruperi 8259 existent in cadrul calculatoarelor PC are o intrare - *IRQ7* (sau *IRQ5* in unele situatii) - conectata la interfata paralela LPT, la registrul de comanda (adresa *27ah*, *37ah*,), fiind rezervat bitul 4, respectiv pinul 10. Conform structurii PC, liniei de intreruperi *IRQ7* ii este asociata intreruperea hard *0x0f=INTR*, existenta in cadrul tabloului vectorilor de intreruperi a microprocesoarelor *80x86*. In cadrul functiei principale *main()* se realizeaza instalarea functiei de tratare a intreruperilor la adresa corespunzatoare *0x0f*.

```
oldhandler = getvect (INTR); salvare subrutina de tratare existenta la  
adresa INTR  
setvect(INTR, handler); instalare subrutina noua caracteristica aplicatiei de  
conducere  
outp (0x37a, inp(0x37a)|0x10)); setarea corespunzatoare a registrului inter-  
fetei paralele  
outp (0x21, inp(0x21) & 0x7f); programarea controlerului 8259, din structura  
PC  
outp (0x20, 0x20);  
.....  
setvect(INTR, oldhandler); restaurarea subrutinei initiale de tratare a intre-  
ruperii
```

Subrutina propriu-zisa de tratare a intreruperii are o structura bloc similara diferind corpurile specifice in cele doua cazuri:

```
void interrupt handler () {  
  outp (0x21, inp (0x21) | 0x80); invalidare IRQ7, pentru a nu fi posibila vali-  
    darea unei noi intreruperi IRQ7, chiar in timpul servirii  
    celei anterioare, cu efecte nefaste asupra sistemului;  
  
  outp (0x20, 0x20); programare controler 8259  
    blocare generator  
    corpul subrutinei  
    .....  
  outp ((0x21, inp(0x21) & 0x7f); revalidare IRQ7  
}
```

Particularitatile subrutinei de tratare a intreruperii in cele doua situatii sunt prezentate in continuare:

a) Comanda automata.

In aceasta situatie intrerupera IRQ7 este folosita la intreruperea programului principal in momentul aparitiei unei *avarii* (ruperea firului, lipsa lichidului dielectric, depasirea limitelor de cursa.....); sesizarea acestor momente critice in desfasurarea procesului are o importanta deosebita, de o importanta exceptionala fiind si promptitudinea cu care se sesizeaza necesitatea intreruperii. Tocmai aceste considerente au facut sa nu se opteze pentru utilizarea altor tehnici (de exemplu interogare-pooling).

In corpul subrutinei se ramane pina ce operatorul semnaleaza calculatorului remediarea avariei si prin aceasta posibilitatea reluarii procesului, de la valorile pozitiilor existente in momentul intreruperii

b) Comanda manuala.

In aceasta situatie sistemul de intreruperi este folosit pentru sesizarea atingerii indexurilor de pe traductorii de pozitie, in scopul centrarii. Sarcina subrutinei este de a pune pe 0 numaratoarele aferente axei respective.

Desi ar fi fost de dorit ca aceasta setare pe 0 a numaratoarelor sa se faca chiar in cadrul subrutinei de tratare, in urma mai multor incercari experimentale aceasta operatiune a generat conflicte care au dus in mod repetat la blocarea sistemului.

Datorita acestei dificultati instructiunile de resetare s-au plasat in programul principal aparand deficianta existentei unei intarzieri fata de momentul citirii indexului.

Din punct de vedere soft s-au introdus doua variabile suplimentare *count* si *count1*, care memoreaza numarul de citiri ale indexului. In cazul depistarii unei diferente, deci aparitiei unei noi cereri de intrerupere, se face setarea pe axa respectiva.

Subrutina de tratare a intreruperii este inclusa in sursa C++ prezentata in anexa C.

CAP.5. CERCETARI EXPERIMENTALE ASUPRA ECHIPAMENTULUI DE COMANDA NUMERICA A AVANSULUI.

5.1. Consideratii preliminare.

Sistemul de comanda numerica implementat pe masina de prelucrare prin eroziune electrica cu electrod filiform ELEROFIL 10 este prezentat in fig.5.1.1.

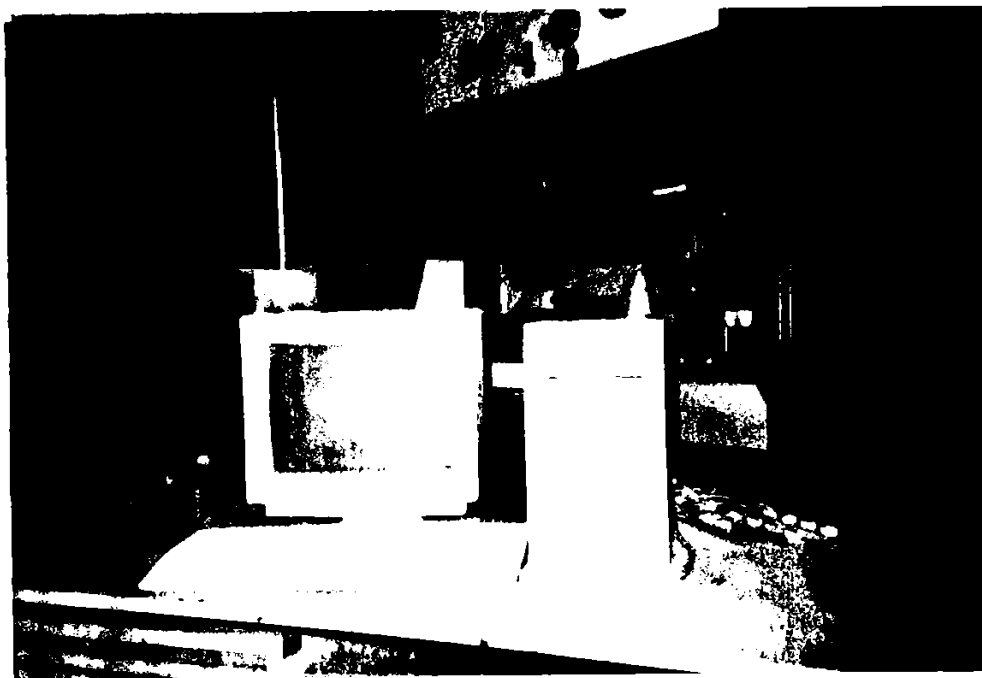


Fig. 5.1.1. Sistemul de comanda CNC cu calculator PC atasat masinii ELEROFIL 10.

Acesta a fost supus unor incercari experimentale avand ca scop validarea solutiei proiectate sub doua aspecte :

1. – functional, in sensul urmaririi corectitudinii executiei tuturor comenzilor, implementate prin softul de conducere ;
2. – tehnologic, prin determinarea valorilor caracteristicilor tehnologice cele mai importante ale prelucrarii, functie de parametrii sistemului de comanda.

5.2. Cercetari experimentale calitative.

In cadrul cercetarilor calitative s-a evidentiat functionarea sistemului de comanda realizat prin urmarirea evolutiei procesului de prelucrare la nivelul fiecarui pas, posibilitate oferita de programul executor C++.

Funcțiile de baza ale sistemului de conducere, pentru regimul de prelucrare (fig.4.), care au fost supuse analizei in timp real sunt :

- a). -cuplarea / decuplarea generatorului de impulsuri ;
- b). -sesizarea starii de avarie ;
- c). -comanda avansului, in regimurile caracteristice :
 - normal (interpolare, corectie de traiectorie) ;
 - scurtcircuit (sesizare, retragere).
 - revenire din scurtcircuit.

Comparativ cu indeplinirea functiilor de la punctele a) si b), a caror executii au fost urmarite in mod direct, pentru urmarirea calitatii avansului s-a identificat solutia analizarii modului de emitere si de executie a comenzilor succesive pentru fiecare din cele trei cazuri mentionate. In acest scop, s-a prevazut, in cadrul programului de conducere, deschiderea unui fisier text (FPO.txt) in care s-au salvat periodic urmatoarele informatii :

1. – cotele reale atinse pe axele x si y , obtinute in urma citirilor traductorilor de pozitie ; aceste informatii au fost inscrise in variabilele reale $x21$ si $y21$;
 - valorile corespunzatoare (nominale), rezultate in urma calculelor de interpolare, care au fost inscrise in variabilele $x20$ si $y20$;

Un segment de fisier care contine aceste date este prezentat mai jos :

```
.....  
citiri x21=2.011 y21=0.242 x20=2.013 y20=0.245  
citiri x21=2.017 y21=0.319 x20=2.020 y20=0.322  
citiri x21=2.028 y21=0.395 x20=2.028 y20=0.398  
citiri x21=2.040 y21=0.469 x20=2.039 y20=0.472  
citiri x21=2.050 y21=0.541 x20=2.050 y20=0.544  
citiri x21=2.060 y21=0.611 x20=2.063 y20=0.615  
citiri x21=2.079 y21=0.681 x20=2.078 y20=0.684  
citiri x21=2.093 y21=0.749 x20=2.094 y20=0.752  
citiri x21=2.114 y21=0.814 x20=2.111 y20=0.819  
citiri x21=2.129 y21=0.880 x20=2.130 y20=0.884  
citiri x21=2.150 y21=0.945 x20=2.149 y20=0.948
```

2. – modalitatea de efectuare a segmentului de corectie, in cazul in care eroarea de pozitie $\varepsilon_{x,(y)}$ depaseseste valoarea admisa $amax$:

$$\varepsilon_x = |x_{20} - x_{21}| > amax$$

$$\varepsilon_y = |y_{20} - y_{21}| > amax$$

Aceasta situatie este exemplificata in fragmentul de fisier :

```
.....  
citiri x21=1.486 y21=0.002 x20=1.491 y20=-0.000  
citiri x21=1.570 y21=0.002 x20=1.575 y20=-0.000  
citiri x21=1.653 y21=0.002 x20=1.660 y20=-0.000  $\varepsilon_x=|x_{20} - x_{21}|=7 (> amax= 0.005)$ 
```

```
.....  
prel ci1p=1 delta=0.000 x20=1.653 y20=0.002  
prel ci1p=2 delta=0.000 x20=1.653 y20=0.002  
prel ci1p=3 delta=-0.000 x20=1.654 y20=0.002  
prel ci1p=4 delta=-0.000 x20=1.654 y20=0.002  
prel ci1p=5 delta=-0.000 x20=1.655 y20=0.002  
.....
```

3. – modalitatea de revenire pe traiectoria parcursa in cazul aparitiei unui scurtcircuit ; in acest caz se listeaza informatiile relative la stivele de pozitie :

- valoarea variabilei contor i1p ;
- adresele locatiilor de memorie ;
- codurile transmise convertoarelor de putere ;
- numarul de pasi executati in timpul retragerii.

Succesiunea pasilor este listata in segmentul de fisier :

```
.....  
popscurt i1p=7951 index1=0 noul virf=3dd f2=9d sc=156  
popscurt i1p=7950 index1=0 noul virf=3dc f2=8d sc=157  
popscurt i1p=7949 index1=0 noul virf=3db f2=8e sc=141  
popscurt i1p=7948 index1=0 noul virf=3da f2=8f sc=142  
.....
```

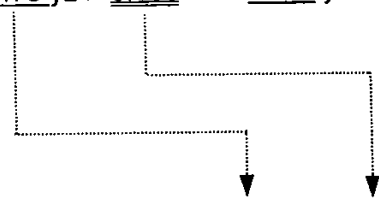
```
.....  
citiri x21=3.400 y21=2.614 x20=3.401 y20=2.616  
.....  
popscurt i1p=8063 index1=0 noul virf=64 f2=6a sc=105  
popscurt i1p=8062 index1=0 noul virf=63 f2=5a sc=106  
popscurt i1p=8061 index1=0 noul virf=62 f2=5b sc=90  
popscurt i1p=8060 index1=0 noul virf=61 f2=5c sc=91  
.....
```

Segmentul de fisier FPO.txt generat in timpul prelucrarii unui arc de cerc este prezentat in anexa D.

Perioada de esantionare a citirilor este o variabila in program a carei stabilire la o valoare convenabila reprezinta un compromis intre rezolutia afisarii cotelor (dependenta de viteza de prelucrare) si intarzierea pe care o introduce in rularea programului.

Utilizarea fisierului FPO.txt este prezentata in fig. 5.2.1 in care se poate urmari executia corectiei de traiectorie, corespunzator succesiunii de pasi prezentati in secventa alaturata :

```
.....  
citiri x21=5.065 y21=3.144 x20=5.068 y20=3.146  
citiri x21=5.136 y21=3.144 x20=5.140 y20=3.147  
citiri x21=5.213 y21=3.144 x20=5.217 y20=3.146  
citiri x21=5.411 y21=3.141 x20=5.415 y20=3.136  
citiri x21=5.475 y21=3.139 x20=5.477 y20=3.130  $\epsilon_y=|y20 - y21|=9 (> a_{max} = 0.005)$   
  
prel ci1p=1 delta=0.000 x20=5.475 y20=3.139  
prel ci1p=2 delta=0.000 x20=5.475 y20=3.138  
prel ci1p=3 delta=0.000 x20=5.475 y20=3.137  
prel ci1p=4 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.137  
prel ci1p=5 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.137  
prel ci1p=6 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.136  
prel ci1p=7 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.136  
prel ci1p=8 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.135  
prel ci1p=9 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.135  
prel ci1p=10 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.134  
prel ci1p=11 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.133  
prel ci1p=12 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.132  
prel ci1p=13 delta=0.000 x20=5.477 y20=3.132  
prel ci1p=14 delta=0.000 x20=5.477 y20=3.131  
prel ci1p=15 delta=0.000 x20=5.477 y20=3.130
```



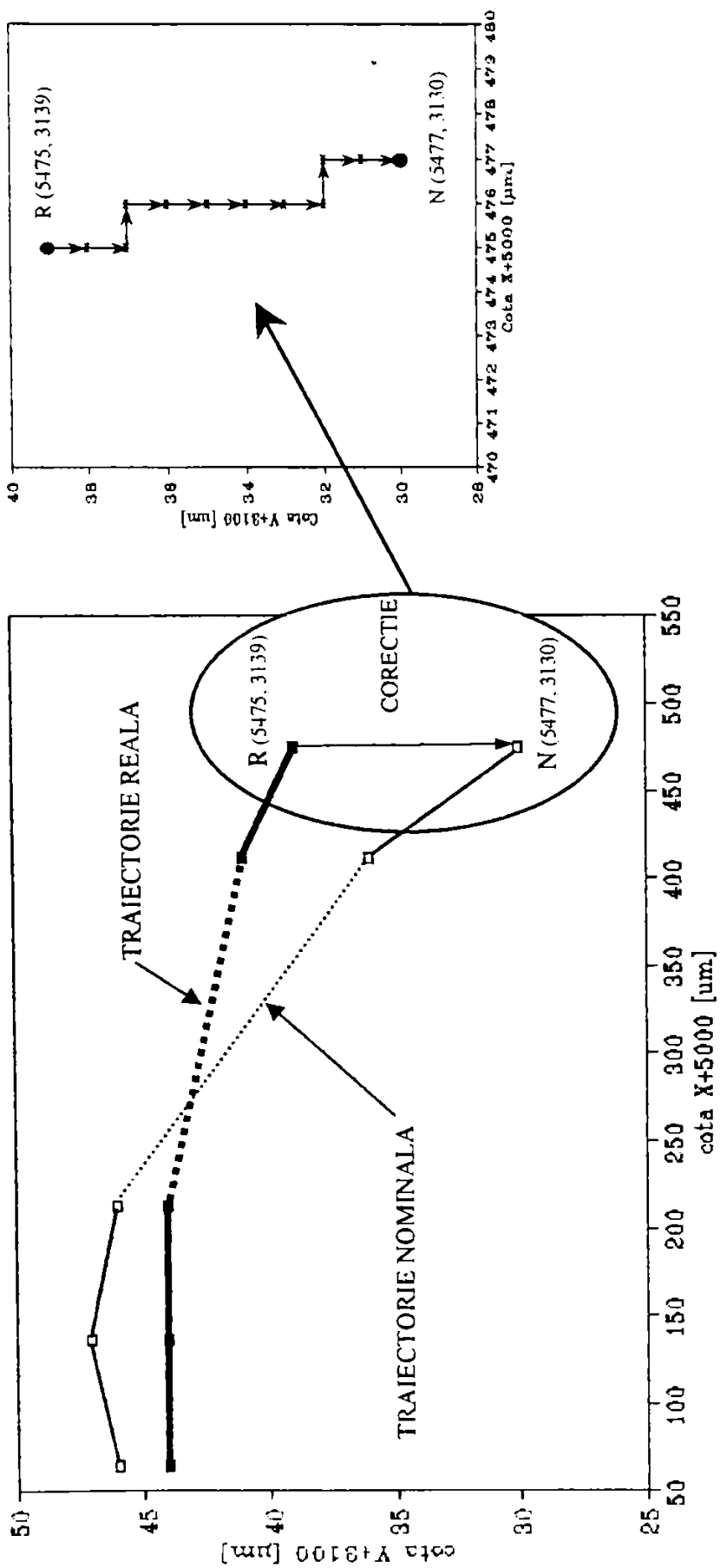


Fig.5.2.1. Corectia traiectoriei prin segmente de dreapta.

5.3. Cercetari tehnologice.

Cercetarile de natura cantitativa au urmarit stabilirea influentelor parametrilor de intrare ai procesului de prelucrare asupra caracteristicilor tehnologice ale prelucrării. Principalii parametri ai procesului sunt prezentati in tabelul 5.3.1.

Tabelul 5.3.1. Parametrii procesului de prelucrare pe masina cu electrod filiform

Parametrii	
de intrare	de iesire
<p>A. de natura substantiala :</p> <p>1. – aferenti semifabricatului :</p> <ul style="list-style-type: none"> - material ; - dimensiuni in plan : $b \times l$ (mm x mm) ; - grosime G (mm). <p>2. – aferenti electrodului scula :</p> <ul style="list-style-type: none"> - material ; - diametru d_f (mm). <p>3. –aferenti dielectricului :</p> <ul style="list-style-type: none"> - conductivitate γ ($\mu\text{S/cm}$). 	<p>Caracteristici tehnologice :</p> <ul style="list-style-type: none"> - viteza de prelucrare v_p (mm/min) ; - precizia de prelucrare : <ul style="list-style-type: none"> - abaterea dimensionala A_L (mm) ; - abaterea de forma A_{LF} (mm) ; - rugozitatea R_a (μm) <ul style="list-style-type: none"> - longitudinala R_{al} (μm) ; - transversala R_{at} (μm).
<p>B. de natura energetica :</p> <ul style="list-style-type: none"> - treapta de curent I (-) ; - treapta de capacitate C (-). 	
<p>C. de conducere prin CNC (soft) :</p> <ul style="list-style-type: none"> - coeficientul timpului de esantionare N_e (-) ; - abaterea maxima admisa a_{max} (μm). 	

Observatie : 1. Prin definitie, timpul de esantionare : $t_e = N_e t_{pas}$ [s], unde : N_e – numarul pasilor elementari dupa care se efectueaza citirea traductorilor de pozitie ; t_{pas} – intervalul de timp dupa care se executa un pas elementar, urmare a conditiilor concrete de prelevare din interstitiu. Ca urmare, timpul de esantionare este variabil aleator, parametrul corespunzator prescriptibil fiind N_e .

2. In locul vitezei de prelucrare v_p se poate folosi aria debitata in unitatea de timp : $A_p = v_p G$ (mm^2/min) care reprezinta un parametru in care se elimina influenta grosimii semifabricatului asupra vitezei de prelucrare.

5.3.1. Stabilirea ordinii de influenta a parametrilor.

Din multimea parametrilor prezentati in tab.5.3.1 au fost selectati patru parametri variabili : treapta de curent I , grosimea semifabricatului G , abaterea maxima admisa a_{max} si coeficientul timpului de esantionare N_e . S-a urmarit stabilirea ordinii de influenta a acestora asupra indicatorilor tehnologici : viteza de prelucrare v_p , precizia de prelucrare (abaterea) A_L si a rugozitatii R_a a suprafetei.

In acest scop a fost realizat un program experimental corespunzator metodei bilantului aleator, a carui organizare si rezultate sunt prezentate in tabelele 5.3.2, 5.3.3. si 5.3.4.

Parametrii constanti ai prelucrarilor au fost :

- materialul OP : otel C120 ;
- forma si dimensiunile probelor : dreptunghiular, 5 x 2 mm x mm ;

- electrod : cupru electrolitic cu diametrul $d_f = 0.3$ mm ;
- lichid dielectric : apa deionizata cu conductivitate $\gamma = 30$ μ S/cm ;
- treapta de capacitate : TO1 pozitia 4.

Pentru stabilirea abaterii dimensionale A_L , programarea traiectoriei de prelucrare (echidistanta fata de traiectoria nominala) s-a facut cu aplicarea coeficientului de corectie k_2 (rel. 4.3.2) determinat experimental in urma unor taieri de proba pentru cele doua trepte de curent si doua grosimi ale OP. Valorile rezultate sunt prezentate in tabelul 5.3.5.

Tabelul 5.3.2. Variabilele de intrare ale procesului.

VARIABILA		NIVELE VARIABILA		INDICATOR	
Cod	Denumire	Cod	Specificatie	Cod	Denumire
1	Treapta curent I (-)	1	0.4	1	Viteza de prelucrare v_p (mm/min)
		2	1.5		
2	Grosime OP G (mm)	1	1.0	2	Abaterea liniara A_L (mm)
		2	10.0		
3	Abatere maxima amax (mm)	1	0.005	2	Abaterea liniara A_L (mm)
		2	0.010		
4	Coeficient esantionare Ne (-)	1	100	3	Rugozitatea Ra (μ m)
		2	200		
		3	300		

Tabelul 5.3.3. Programul experimental.

Nr. ordine	Parametrii variabili / nivele				Indicatori		
	1	2	3	4	1	2	3
1	2	1	2	1	4.61	0.024	2.26
2	1	1	1	3	1.90	0.020	2.33
3	1	1	1	1	0.97	0.014	2.19
4	1	2	2	1	0.31	0.022	2.41
5	2	2	2	2	0.99	0.023	2.69
6	2	1	1	1	4.16	0.016	2.45
7	1	1	1	2	1.56	0.023	2.21
8	1	2	1	1	0.73	0.017	2.13
9	2	2	1	1	0.81	0.022	2.19
10	1	2	2	3	0.92	0.024	2.41
11	2	1	2	2	5.11	0.024	2.31
12	2	2	1	2	0.96	0.018	2.17
13	1	2	1	3	0.26	0.016	2.53
14	1	1	2	1	2.13	0.017	2.41
15	1	1	2	2	2.08	0.021	2.26
16	2	2	2	1	0.85	0.019	2.64
17	1	1	2	3	2.61	0.021	2.32
18	2	1	1	2	5.12	0.019	2.51
19	1	2	2	2	0.28	0.023	2.11
20	1	2	1	2	1.85	0.018	2.17
21	2	2	1	3	0.94	0.020	2.15
22	2	1	2	3	1.17	0.031	2.58
23	2	2	2	3	1.11	0.031	2.37
24	2	1	1	3	5.83	0.025	2.54

Tabelul 5.3.4.Ordinea de influenta a factorilor independenti.

Functia de raspuns	Variabila independenta		
	Ordine de influenta	Cod	Denumire
1	1	2	Grosimea OP
	2	1	Treapta curent
	3	4	Coeficient esantionare
	4	3	Abaterea admisa
2	1	3	Abaterea admisa
	2	4	Coeficient esantionare
	3	2	Grosimea OP
	4	1	Treapta curent
3	1	1	Treapta curent
	2	3	Abaterea admisa
	3	4	Coeficient esantionare
	4	2	Grosimea OP

Tabelul 5.3.5.Valoarea coeficientului de corectie pentru echidistanta.

Treapta de curent l [-]	Grosimea OP G [mm]	coeficient de corectie k_2 [mm]
0.4	1	0.21
0.4	5	0.23
1.5	1	0.28
1.5	5	0.31

Concluzii :

- Viteza de prelucrare este influentata in primul rand de grosimea OP, respectiv de aria supusa prelucrarii; urmeaza treapta de curent – parametru de natura energetica care determina productivitate prelucrarii. Dintre parametrii de comanda prescrisi in program, timpul de esantionare devanseaza abaterea admisa, influenta pusa pe seama intarzierii pe care o introduce in rularea programului operatia de citire a traductorilor de pozitie.
- Precizia de prelucrare este influentata in primul rand de abaterea maxima admisa, la atingerea careia se executa segmentul de corectie. Influenta semnificativa a timpului de esantionare se explica prin aceea ca exista o dependenta intre numarul de pasi dupa care se efectueaza citirea traductorilor si marimea abaterii aparute aleator.
- Rugozitate este influentata in primul rand de treapta de curent, desi in valori absolute aceasta influenta este redusa (tab.5.3.3). Influenta semnificativa a parametrului a_{max} se explica prin faptul ca pe suprafata prelucrata, urmele de prelucrare a segmentelor de corectie (cu lungimi 3... 12 μm), in lungul traiectoriei, se adauga la rugozitatea rezultata in urma procesului de prelevare.

5.3.2. Stabilirea valorilor parametrilor de comanda.

Pentru stabilirea domeniului de valori in care trebuie prescrisi parametrii de comanda ai avansului (a_{max} si N_e) pentru obtinerea unor valori optime ale caracteristicilor tehnologice, s-au stabilit modelele matematice ale functiilor:

$$v_p = f_1(N_e, a_{max}); A_L = f_2(N_e, a_{max}); Ra = f_3(N_e, a_{max})$$

In acest scop s-au realizat un numar de 2 experimente active factoriale 3^2 . Nivelele factorilor independenti sunt prezentate in tabelul 5.3.6, iar programele experimentale, in tabelul 5.3.7 si 5.3.8.

Tabelul 5.3.6. Nivelele factorilor si functiile de raspuns

Factori			Nr. crt.	Functii de raspuns $y_{ni}; i = 1,2$	
Cod	x1	x2			
Simbol	$N_e [-]$	$a_{max} [\mu m]$			
Nivele	+	2.5	1	y_{1i}	viteza de prelucrare v_p
	0	1.5	2	y_{2i}	abaterea liniara A_L
	-	0.5	3	y_{3i}	rugozitatea transversala Ra_t

Tabelul 5.3.7. Experiment factorial $3^2 - 1$

Nr. crt.	Nr. ord. exper.	Nivele factori			Functia de raspuns			Obs.
		x0	x1	x2	y11	y21	y31	
1	7	+	+	+	5.63	0.028	2.19	Grosimea OP: G = 1 mm Treapta curent: l = 0.4 Corectie echidistanta: $k_2 = 0.21$ mm
2	3	+	+	0	4.81	0.021	2.12	
3	1	+	+	-	2.17	0.022	2.65	
4	8	+	0	+	4.32	0.028	2.16	
5	5	+	0	0	3.65	0.014	2.33	
6	2	+	0	-	1.81	0.018	2.52	
7	4	+	-	+	3.19	0.025	2.18	
8	9	+	-	0	2.23	0.018	2.48	
9	6	+	-	-	0.69	0.023	2.55	

Tabelul 5.3.8. Experiment factorial $3^2 - 2$

Nr. crt.	Nr. ord. exper.	Nivele factori			Functia de raspuns			Obs.
		x0	x1	x2	y12	y22	y32	
1	6	+	+	+	1.26	0.026	2.03	Grosimea OP: G = 5 mm Treapta curent: l = 1.5 Corectie echidistanta: $k_2 = 0.31$ mm
2	4	+	+	0	1.13	0.019	2.15	
3	2	+	+	-	0.62	0.027	2.21	
4	9	+	0	+	0.75	0.021	2.36	
5	5	+	0	0	0.72	0.018	2.25	
6	1	+	0	-	0.32	0.025	2.46	
7	8	+	-	+	0.54	0.022	2.63	
8	3	+	-	0	0.47	0.021	2.31	
9	7	+	-	-	0.28	0.032	2.72	

In urma desfasurarii experientelor si a prelucrarii rezultatelor prin pachetul de programe STATGRAPHICS sa rezultat urmatoarele modele matematice:

$$y_{11} = 1.237 + 6.8 \cdot 10^{-6} x_1 + 0.243 x_2 - 3.77 \cdot 10^{-5} x_1^2 - 2.862 \cdot 10^{-2} x_2^2 + 2.52 \cdot 10^{-3} x_1 x_2 \quad (5.3.1)$$

$$y_{21} = 0.0353 - 1.86 \cdot 10^{-5} x_1 - 4.29 \cdot 10^{-3} x_2 + 0.94 \cdot 10^{-7} x_1^2 + 2.216 \cdot 10^{-4} x_2^2 + 1.18 \cdot 10^{-6} x_1 x_2 \quad (5.3.2)$$

$$y_{31} = 2.180 - 3.17 \cdot 10^{-4} x_1 - 2.04 \cdot 10^{-3} x_2 + 7.35 \cdot 10^{-6} x_1^2 + 2.194 \cdot 10^{-3} x_2^2 - 8.52 \cdot 10^{-5} x_1 x_2 \quad (5.3.3)$$

$$y_{12} = 0.627 - 0.71 \cdot 10^{-6} x_1 - 0.132 x_2 + 0.47 \cdot 10^{-5} x_1^2 + 1.128 \cdot 10^{-2} x_2^2 + 5.91 \cdot 10^{-5} x_1 x_2 \quad (5.3.4)$$

$$y_{22} = 0.0403 - 2.931 \cdot 10^{-5} x_1 - 4.47 \cdot 10^{-3} x_2 + 0.867 \cdot 10^{-7} x_1^2 + 1.986 \cdot 10^{-4} x_2^2 + 4.08 \cdot 10^{-6} x_1 x_2 \quad (5.3.5)$$

$$y_{32} = 1.963 - 9.17 \cdot 10^{-4} x_1 - 9.14 \cdot 10^{-3} x_2 + 1.33 \cdot 10^{-5} x_1^2 + 3.11 \cdot 10^{-3} x_2^2 - 9.85 \cdot 10^{-5} x_1 x_2 \quad (5.3.6)$$

Suprafetele de raspuns si curbele de nivel constant ale functiilor (5.3.1...5.3.6) sunt prezentate in fig.5.3.1 si 5.3.2. Din examinarea acestora se pot desprinde urmatoarele concluzii:

- valorile optime ale parametrilor de comanda trebuie sa asigure simultan:
 - viteza de prelucrare maxima; aceasta se obtine pentru un timp de esantionare maxim ($N_e = 300$) si abatere admisa maxima ($a_{max} = 12 \mu m$);
 - abatere dimensionala minima; acestei conditii ii corespunde $N_e = 100$ (valoarea minima investigata) si $a_{max} = 6..7 \mu m$;
 - rugozitate minima, care corespunde pentru $N_e = 150...160$ si $a_{max} = 9...10 \mu m$;
- conditiile enumerate nu sunt indeplinite simultan, ceea ce impune realizarea unui compromis acceptabil pentru obiectivul urmarit. Astfel, se accepta valorile:

$$N_e = 200 \quad \text{si} \quad a_{max} = 10 \mu m$$

pentru care se obtin:

$$v_p = (0.50...0.80) v_{pmax}; \quad A_L = (1.05...1.13) A_{Lmin}; \quad Ra = (1.06...1.13) Ra_{min}.$$

Suplimentar, s-au investigat urmatoarele dependente:

- a. – influenta valorilor parametrilor de reglare asupra preciziei prelucrarii unor piese cilindrice; rezultatele sunt prezentate in tabelul 5.3. 9.
- b. – influenta segmentelor de corectie asupra rugozitatii transversale Ra ; rezultatele incercarilor sunt prezentate in fig. 5.3.4.

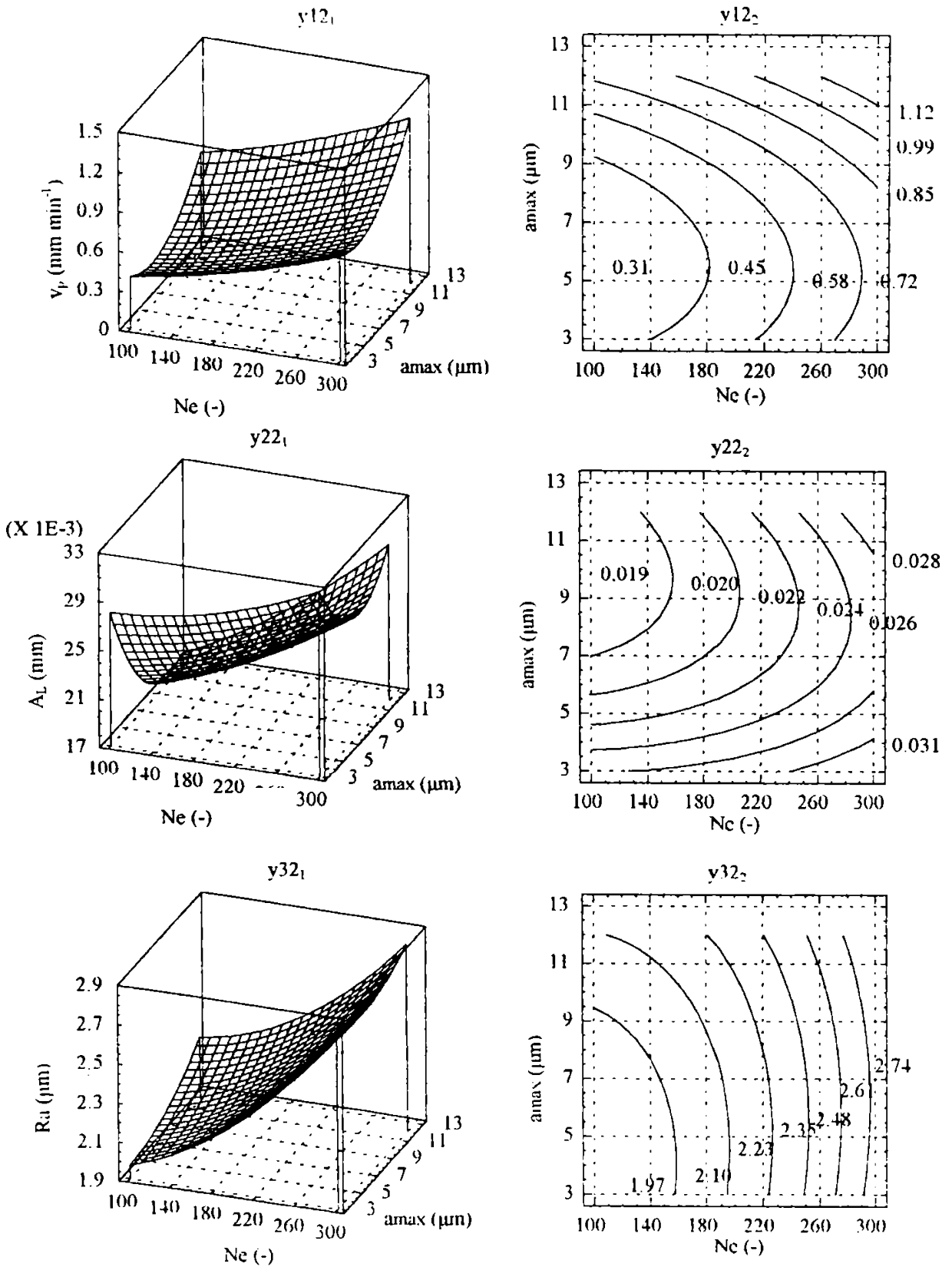


Fig.5.3.1. Suprafetele de raspuns si curbele de nivel constant pentru functiile 5.3.1... 5.3.3.

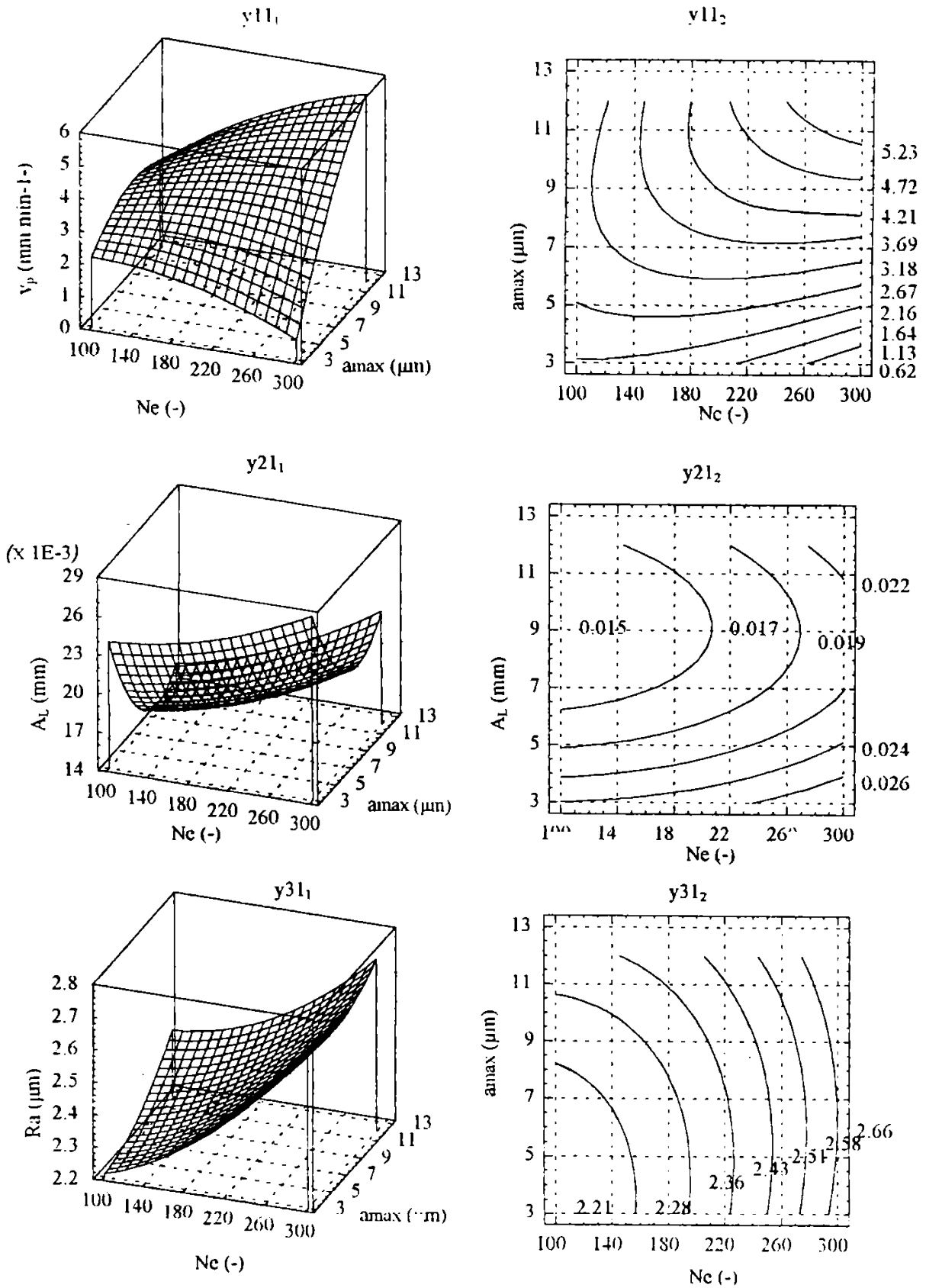


Fig.5.3.2. Suprafetele de raspuns si curbele de nivel constant pentru functiile 5.3.4... 5.3.6.

Tabelul 5.3.9. Rezultate experimentale in cazul prelucrării probelor cilindrice.

Nr. crt	Diametrul D_p (mm)	Grosimea G (mm)	Abaterea a_{max} (mm)	Coefficien de esantionare N_e (-)	Timp de prelucrare T_p (min)	Abaterea de la circularitate	Regim prelucrare
1	6	1	0.012	170	4.2	0.020	I = 0.3 [-]
2	6	1	0.005	170	5.8	0.015	
3	6	1	0.009	170	4.5	0.016	
4	6	1	0.009	100	5.5	0.014	
5	20	1	0.009	170	17.3	0.017	
6	6	10	0.009	170	13.7	0.030	I = 2.0 [-]
7	20	10	0.009	170	32.4	0.035	

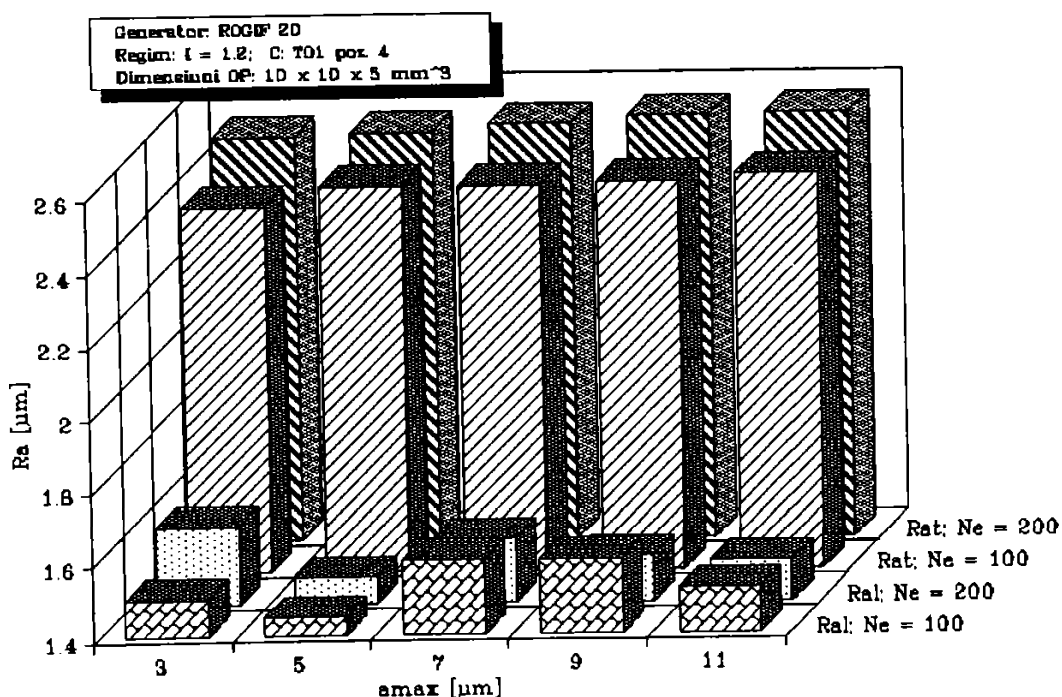


Fig.5.3.3. Variatia rugozitatii longitudinale si transversale , datorata segmentelor de corectie

Concluzii:

- Rezultatele experimentale confirma fezabilitatea sistemului de comanda a masinii ELEROFIL 10, realizat un urma cercetarilor prezentate anterior, asigurand o functionare corecta a masinii in ansamblul ei si in particular a sistemului de avans.
- Valorile principalilor caracteristici tehnologice obtinute sunt la nivelul masinilor moderne de prelucrare prin eroziune electrica cu electrod filiform.
- Echipamentul de comanda realizat a fost implementat pe o masina ELEROFIL –10, aflata in exploatare industriala la SC UAMT SA Oradea.

CAP.6. CONCLUZII.

Prin elaborarea tezei de doctorat autorul si-a propus sa aduca o contributie la cresterea performantelor sistemelor de reglare a avansului, din compunerea masinilor de prelucrare prin eroziune electrica. Finalitatea urmarita a fost identificarea si implementarea unor solutii fezabile, cu aplicabilitate imediata, care sa conduca la cresterea caracteristicilor tehnice si economice ale prelucrarii prin electroeroziune, in conditiile concurentiale existente in prezent.

In completarea concluziilor partiale, prezentate in lucrare, se considera semnificative urmatoarele concluzii de ordin general:

1. Masinile de prelucrare prin eroziune electrica aflate la ora actuala in exploatare in intreprinderi industriale din Romania sunt in marea lor majoritate depasite moral si uzate fizic, fiind construite cu cca. 10...20 de ani in urma;
2. Diversificarea produselor, cresterea ponderii unicatelelor si a celor de serie mica au produs mutatii in organizarea productiei, impulsionand aplicarea prelucrarilor prin eroziune electrica;
3. Modernizarea parcului de masini prin inlocuirea masinilor existente cu altele, moderne, achizitionate prin import reprezinta pentru multi agenti economici confruntati cu mari probleme economico-financiare, o solutie prohibita;
4. Modernizarea masinilor existente, integral sau la anumite subansamble constituie in cele mai multe cazuri o solutie eficienta;
5. In sfera sistemelor de comanda (integrale sau particularizate) ale masinilor – care prezinta cea mai insemnata uzura morala - modernizarea realizata prin adaptarea unor produse/echipamente "universale" (calculatoare PC, interfete universale, sisteme de actionare nespecifice), completate cu softuri de conducere performante constituie o solutie mult mai ieftina decat utilizarea echipamentelor dedicate.

In concordanta cu obiectivul urmarit in cadrul lucrarii, se evidentiaza urmatoarele contributii originale ale autorului:

A. Contributii in domeniul teoretic:

- Identificarea posibilitatilor de caracterizare in timp real a procesului de prelucrare prin eroziune electrica. Pentru aceasta s-a analizat fluxul informational la EDM, rezultand posibilitatea caracterizarii starii procesului de prelucrare prin intermediul parametrilor de stare.
- Premodelarea procesului EDM prin metoda bilantului aleator, in scopul stabilirii ordinii de influenta a parametrilor de regim asupra productivitatii, uzurii relative si a grosimii interstitiului lateral. Pentru aceasta a fost elaborat programul BIL_AL, scris in limbaj GWBASIC pentru calculatoare compatibile IBM PC.
- Modelarea matematica a procesului de prelucrare prin experiment activ, utilizand programul E_FACT scris in limbaj GWBASIC. In urma prelucrarii datelor experimentale au rezultat modelele matematice ale procesului pentru productivitate, uzura relativa si interstitiul lateral.
- Stabilirea expresiilor unor caracteristici de eficienta a prelucrarii si utilizarea duratelor relative de mers in gol, a impulsurilor efective si ale celor anormale – fictive si in scurtcircuit, pentru caracterizarea calitatii procesului electroeroziv. Acest mod de exprimare a eficientei confera acestor coeficienti un caracter de universalitate, ele nefiind influentate de regimul de functionare a generatorului (izofrecventa sau izopuls).
- Studiului interstitiului eroziv, privit ca obiect supus reglarii automate. Stabilirea functiei de transfer in cazul caracterizarii acestuia prin valoarea medie a tensiunii.
- Studiul teoretic al evolutiei grosimii interstitiului, care a condus la identificarea coeficientului de eficienta a prelucrarii drept parametru de reactie utilizabil pentru o reglare extremala a avansului.
- Stabilirea teoretica a expresiei semnalului (tensiunii) de comanda a sistemului de avans, cu utilizarea duratelor medii ale impulsurilor de diferite tipuri si a variatiilor in timp ale acestor durate.
- Realizarea unui studiu de stabilitate a sistemului de avans pentru micromasina EDM, utilizand criteriul de stabilitate Nyquist.
- Identificarea posibilitatilor practice de modernizare a sistemului de comanda a masinii de prelucrat prin eroziune electrica cu electrod filiform ELEROFIL 10.
- Elaborarea schemei logice de comanda prin sistemul CNC a prelucrarii pe masina ELEROFIL 10.
- Realizarea unui studiu pentru adoptarea algoritmilor pentru interpolare liniara si circulara.

- Stabilirea arhitecturii programului de conducere prin CNC a avansului, avand in vedere toate situatiile posibile (avans tehnologic de prelucrare, corectie de traiectorie, retragere si revenire din scurtcircuit).

B. Contributii in domeniul cercetarii experimentale:

- Stabilirea valorilor optime ale tensiunilor de referinta U_H si U_L prescrise pe discriminatorul de impulsuri, prin parcurgerea unui program experimental in doua etape. In prima etapa – experiment clasic- s-au precizat influentele individuale ale referintelor U_H si U_L asupra rezultatelor discriminarii. In etapa a doua s-au obtinut – prin experiment activ- modelele matematice pentru duratele relative ale impulsurilor de diferite tipuri functie de perechile de valori U_H si U_L ; dease-menea s-au pus in evidenta actiunile perturbatoare ale parametrilor de regim ON-LINE asupra indicatiilor discriminatorului de impulsuri.
- Identificarea parametrilor care caracterizeaza starea fizico-geometrica a interstitiului: tensiunea medie si intarzierea medie la amorsare a descarcarilor (direct masurabili in proces) si parametrii de grup ai impulsurilor.
- Stabilirea experimentala a influentelor duratei de impuls, a treptei de curent si a regimului de circulatie a dielectricului in interstitiu asupra intarzierii medii la amorsare a descarcarilor. Acesti parametri de regim actioneaza in sens perturbator asupra parametrului de reactie, care nu poate oferi posibilitatea efectuarii unei reglari optime a marimii interstitiului.
- Stabilirea experimentala a corelatiilor dintre valoarea coeficientului de eficienta, productivitate si grosimea interstitiului.
- Stabilirea valorilor coeficientilor de pondere din expresia semnalului de comanda a avansului pe baza unor cercetari experimentale clasice preliminare urmate de experimentul activ factorial 3^2 .
- Validarea conceptiei si realizarii sistemului de comanda extremala, implementat in structura sistemului de avans al masinii ELER 01. Acesta s-a realizat prin parcurgerea unui program experimental clasic pentru determinarea productivitatii prelucrarii si a uzurii electrozului, comparativ cu caracteristicile tehnologice obtinute cu sistemul de avans original al masinii ELER 01. S-a evidenciat cresterea semnificativa a productivitatii prelucrarii, in timp ce uzura electrozului nu a manifestat diferente semnificative. Acest fapt poate fi pus pe seama caracteristicilor dinamice relativ reduse ale actionarii electrohidraulice a sistemului de avans al masinii.
- Testarea functionala a sistemului de avans comandat prin sistemul CNC prin conceperea unui program de inregistrare intr-un fisier text a succesiunii de pasi

efectuati intr-un interval de timp, cu specificarea conditiilor de executie: avans normal, corectie de traiectorie, retragere din scurtcircuit, revenire din scurtcircuit. Aceasta solutie a permis identificarea si eliminarea unor disfunctionalitati insesizabile in timpul prelucrarii dar cu implicatii negative asupra rezultatelor prelucrarii, la nivel macroscopic.

- Stabilirea ponderii de influenta a parametrilor de regim si de reglare a avansului - abaterea maxima admisa si coeficientul timpului de esantionare – prin metoda bilantului aleator.
- Stabilirea valorilor optime ale parametrilor de reglare a avansului prin CNC, prin experiment activ factorial.

C. Contributii in domeniul aplicativ-tehologic:

- Studiul posibilitatilor practice de discriminare a impulsurilor, dupa caracteristicile tensiune-timp ale acestora. In urma acestui studiu s-a proiectat o prima varianta de analizor (discriminator) de impulsuri, pentru selectarea impulsurilor de mers in gol, a celor normale (efective) precum si a impulsurilor fictive de tip 1 si ale selor in scurtcircuit.
- Aprofundarea posibilitatilor de discriminare a impulsurilor, prin realizarea unei variante imbunatatite de analizor de impulsuri EDM capabile sa discrimineze doua tipuri de impulsuri fictive si prin acesta sa asigure o rezolutie sporita a procesului de analiza.
- Realizarea unui simulator de impulsuri EDM care genereaza impulsuri de tensiune cu caracteristici prestabilite, similare cu ale impulsurilor reale din proces. Astfel se poate modela fizic procesul de prelucrare in cazul utilizarii generatoarelor de impulsuri izopuls sau izofrecventa, succesiunea programata a impulsurilor oferind posibilitatea calibrarii analizorului EDM, respectiv a sistemului de reglare a avansului.
- Realizarea unei variante analogice de echipament pentru masurarea coeficientului de eficienta a prelucrarii.
- Implementarea analizorului de impulsuri intr-un sistem de calcul numeric al eficientei prelucrarii, utilizand un calculator TIM-S cu microprocesor Z80B.
- Realizarea unui sistem de comanda extremala, utilizand circuite de calcul analogice.
- Realizarea a doua variante de sistem de comanda extremala numerice, utilizand echipamentul de urmarire a eficientei prelucrarii, completat cu convertor digital analogic pentru generarea semnalului de comanda aplicat servovalvei electrohidraulice.

- Proiectarea si realizarea unui sistem de avans electromecanic pentru o masina de prelucrare prin eroziune electrica a microorificiilor. Pentru aceasta realizare au fost acordate 2 (doua) certificate de inovatie.
- Obtinerea a 4 (patru) brevete de inventie (in colaborare) pentru solutii originale privind dispozitive si sisteme de avans pentru prelucrarea microalezajelor individuale si multiple.
- Realizarea sistemului de avans elicoidal cu motor pas cu pas pentru un dispozitiv, atasat masinii ELER 01, destinat prelucrarii prin eroziune electrica a implantelor dentare tip surub.
- Proiectarea structurii hard a sistemului de comanda a masinii ELEROFIL 10.
- Proiectarea si realizarea interfetei masina pentru sistemul de comanda numerica masinii ELEROFIL 10.
- Elaborarea si implementarea unor algoritmi performanti pentru realizarea corectiilor de traiectorie, pentru masina ELEROFIL 10.
- Elaborarea si implementarea unor algoritmi performanti pentru gestionarea deplasarilor, prin intermediul stivelor de pozitie.
- Elaborarea programului complex, in limbaj C++ , pentru conducerea integrala a masinii ELEROFIL 10 (manevre, desenare, prelucrare, sesizare si eliminare a scurtcircuitelor si situatiilor de avarie, corectie de echidistanta).
- Implementarea sistemului CNC realizat in jrul unui calculator compatibil IBM PC pe o masina ELEROFIL 10, aflata in exploatare industriala la SC "UAMT" SA Oradea .

In final, se poate concluziona ca cercetarile efectuate in cadrul tezei au condus la elucidarea conditiilor pentru realizarea unui avans cu caracter extremal, care asigura obtinerea unei productivitati maxime pentru conditiile concrete in care se realizeaza prelucrarea prin eroziune electrica. Totodata, pentru cazul prelucrarilor de conturare, cu electrod filiform, se obtin viteze si precizii de prelucrare ridicate, urmare a conducerii numerice, prin calculator PC a avansului tehnologic.

Se apreciaza ca rezultatele tehnologice obtinute pot fi imbunatatite pe urmatoarele masuri:

- cresterea vitezei de prelucrare a informatiilor prin utilizarea unor calculatoare cu viteza (frecventa) de lucru cat mai ridicata si/sau folosirea unor interfete suplimentare (procesoare de axa) care sa degreveze calculatorul de necesitatea prelucrarii semnalelor de comanda pentru sistemul de actionare;
- utilizarea unor sisteme moderne de actionare a avansului cu precizii de pozitionare ridicate si viteze mari de reactie;
- echiparea masinilor cu generatoare de impulsuri cu caracteristici superioare celor folosite pe parcursul cercetarilor.

BIBLIOGRAFIE.

1. *Achimescu, N.* - Sistemul de actiune tehnologica la prelucrarea prin eroziune electrica. A IV-a Conf.nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1983, pag.41-50.
2. *Achimescu, N.* - Studiul procesului de generare a formelor spatiale la prelucrarea prin eroziune electrica aspecte geometrice si substantiale. Teza de doctorat, I.P.T.V.T. 1983.
3. *Albinski, K., Liebeskind, A.* - Sterovanie adaptacyine drazarec electroerozyinich. *Mechanic*, 53, Nr.10, 1980.
4. *Alexeyev, G.A., Nastasy, V.K., Sorokina, N.M.* - Study of Dynamic Characteristics of Tool Electrode Feed Controllers in Electrical Discharge Sinking Machines. ISEM-8, Moskow, 1986, pag.27-30.
5. *Antoni, S.* - Badania regulatora grubosci szczeliny miedzyelektrodowi w obrabiarkah elektroerozyjnich. *Mechanic*, Polonia, Nr.2, 1982.
6. *Babutia, I., Petruescu, M.* - Automatizari electronice in constructia de masini. Ed.Facla, Timisoara, 1983.
7. *Badea, C., s.a.* - Generator de impulsuri pentru masini de electroeroziune cu electrod filiform. A IV-a Conf. nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1983, pag.137.
8. *Balleys, Fr., Frey, Ch.* - Evaluation du gap frontal et du gap lateral in electroerosion. *Annals of the CIRP*, vol.28/1/1979, pag.117-120.
9. *Balleys, Fr.* - Etudes de la distribution spatiale de descharges. *Annals of the CIRP*, vol.22/1/1975, pag.135.
10. *Bayramoglu, M., Duffill, A.W.* - Systematic investigation of cylindrical tools for the production of 3D complex shapes on CNC EDM machines. *Int. Journal Mach. Tools & Manufacture* v 34 n 3 Apr. 1994, p.327-339.
11. *Behrens, A., Odensass, P.* - Extremal value controller for feed-control of EDM- machines. *Proc. of the 1993 ASME Winter Annual Meeting, PED v 64 1993, New York, NY, USA*, p.659-666.
12. *Bialy, J.* - Masina de gaurit prin sonoelectroeroziune. Brevet RSR Nr.67119.
13. *Bommeli, B.* - Influence of the Dielectric Fluid's Renewal in Spark Erosion. *Annals of the CIRP* vol. 28/1/1979, pag.121.
14. *Brindasu, D., Nanu, D., Oprean, C.* - Dispozitiv pentru masurarea nedistructiva a interstitiului frontal ectrod-piesa la prelucrarea prin eroziune electrica a unor orificii strapunse (drepte). A IV- a Conferinta ationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1983, pag. 213.
15. *De Bruyn, H.E.* - Slope Control - A Great Improvement in Spark Erosion. *Ann.of the CIRP*, Vol. 8/1/1979, pag. 183.
16. *Bucur, C.M.* - Calculul Numeric. EDP Bucuresti, 1983.
17. *Budisan, N.* - Automatizari si telecomenzi. EDP Bucuresti, 1968.
18. *Buzulica, D.* - Consideratii asupra controlabilitatii procesului de prelucrarea prin eroziune electrica. Simpozion Mecanisme si transmisii mecanice, Resita, 1976.
19. *Crookal, J.R., Heuvelman, C.J.* - Electro Discharge Machining - The State of the Art. 21st General Assembly of CIRP, Warsaw, Poland, 2nd Sept. 1971.
20. *Cornelissen, H.* - Technological surface, an Objective Criterion for Comparing EDM Systems. *Annals of the CIRP*, Vol.27/1/1978, pag.125.
21. *Dragomir, E.H.A.* - Contributii la tehnologia de prelucrare prin eroziune electrica a produselor din carburi metalice. Teza de doctorat, I.P.T.V.T. 1985.
22. *Draghici, G.* - Cercetari privind constructia utilajului si stabilirea tehnologiei de prelucrare a microalezajelor prin eroziune electrica. Teza de doctorat, I.P.T.V.T. 1980.

23. Draghici, G., Savii, G., Reviczky-L., A. - Masina experimentală pentru prelucrarea microalezajelor prin eroziune electrică. Conf. PUPR-IV, Timisoara, 1981.
24. Draghici, G., Savii, G., Reviczky-L., A., Gavrila, Fl. - Masina experimentală pentru prelucrarea prin eroziune electrică a orificiilor pulverizatoarelor de la injectoarele motoarelor Diesel. Ses. "Creativitatea în construcția automobilelor", Pitesti, 1981, pag. 125-130.
25. Draghici, G., Reviczky-L., A. - Automatizarea ciclului de prelucrare prin eroziune electrică a orificiilor strapunse. Ses. "Creativitatea în construcția automobilelor", Pitesti, 1981, pag. 131-136.
26. Draghici, G., Popescu, H., Reviczky-L., A., Salceanu, A. - Dispozitiv cu electrozi filiformi multipli pentru prelucrarea prin eroziune electrică. Brevet RSR Nr.92369/1987.
27. Draghici, G., Reviczky-L., A., Popescu, H. - Dispozitiv de prelucrat orificii multiple prin eroziune electrică. Brevet RSR Nr.95529/1988.
28. Draghici, G., Reviczky-L., A. - Metoda și dispozitiv de limitare a cursei de avans și retragere a electrodului. Brevet RSR Nr.96811/1988.
29. Draghici, G., Reviczky-L., A. - Dispozitiv de avans al electrodului filiform. Brevet RSR Nr.97945/1988.
30. Draghici, G., Reviczky-L., A. - Sistem de reglare automată a avansului la mașini de prelucrat microalezaje prin eroziune electrică. Inovatie I.P.T.V.T. Nr. 375 / 1986.
31. Draghici, G., Reviczky-L., A. - Masina de prelucrat microalezaje prin eroziune electrică. Inovatie I.P.T.V.T. Nr.376/30.05.1986.
32. Draghici, G., Reviczky-L., A. - Masina specializată pentru prelucrarea prin eroziune electrică a orificiilor la pulverizatoarele pompelor de injectie. Inovatie I.P.T.V.T. Nr.377/30.05.1986.
33. Draghici, G., Reviczky-L., A. - Solutie pentru avansul electrodului filiform la prelucrarea microalezajelor prin eroziune electrică. A V-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1989, pag. 62.
34. Draghici, G., Reviczky-L., A., Popescu, H. - Dispozitiv de prelucrat orificii multiple prin eroziune electrică. A V-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1989, pag.65.
35. Dawn, D.S., Snoyes, R. - EDM Tool Wear Control and Work piece Removal Rate Optimization by Adaptive Control Optimization. ISEM-8, Moscow, 1986, pag.46.
36. Drimer, D. - Asupra izvoarelor și resurselor științifice ale tehnologiilor neconventionale. A IV-a Conf. nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1983, pag.23.
37. Esin, V.I.,s.a. - Influenta parametrilor actionarilor electrohidraulice asupra stabilitatii masinilor de prelucrat prin eroziune electrică. VUZ Masinostroiene, URSS, Nr.1, 1980, pag.134-140.
38. Fransua, A.M., s.a. - Masini și sisteme de actionare electrică. Ed.Tehnica, Bucuresti, 1978.
39. Florea, S., Dumitrache, I. - Elemente de executie hidraulice și pneumatice. EDP, Bucuresti, 1967.
40. Frei, Ch. - Limitation in Controlling Process Parameters of EDM due to the Stochastic Nature of the Discharges. ISEM-5, Wolfsberg, 1977, pag.133.
41. Foteev, H.K. - Tehnologia electroerozionnoi obrabotka. Mashinostroiene, Moskva, 1980.
42. Gavrilas, I., Marinescu, N.I. - Prelucrarea prin electroeroziune și electrochimic abraziva. Vol. I-II Ed.Tehnica, Bucuresti, 1980.
43. Gavrilas, I., Marinescu, N.I. - Prelucrari neconventionale în construcția de mașini. Vol.1, Ed. Tehnica, Bucuresti, 1991.
44. Gough, P.J.C. - Automatic Control of Spark Gap Conditions. Ind. Prod. Eng., G.B.,1980, No.2 pag.84.
45. Gutkin, B.C. - Avtomatizatsia electroerziionnih stankov. Izd. Leningrad, 1971.

46. *Heimann, D., s.a.* - Die Stabilitat des funkerosiven Bearbeitungsprocesses und Probleme Vorschubeinrichtung. *Electric*, Nr.29, 1975, H9, pag.491.
47. *Herman, R., Reviczky-L., A.* - Des systemes a regler l'avance,utilises pour equiper les utiles d'usinage par erosion electrique complexe. TAP-97, Penza, Russia, No. 3-4, 1997.
48. *Herscovici, H.* - Circuite electronice in aparatura de automatizare. Ed.Tehnica, Bucuresti, 1976.
49. *Heuvelman, C.J.* - Ignition Delay as a Sensor for the Electro-Discharge Machining Servo Mechanism. Proc.Int. Conf. Prod. Eng. Tokyo, 1974, Part I, pag.38-41.
50. *Inoue, K.* - Fundamental of the Electrical Discharge Machining. Japax Inc., 1974.
51. *Inoue, K.* - Regelvorrichtung fur Arbeitsparameter einer electroerosiven Bearbeitungsmachine. Pat.Suisse Nr.565006
52. *Inoue, K.* - Regulator pentru interstitiu la prelucrarea prin electroeroziune. Pat.Japan Nr.51-40319.
53. *Inoue, K.* - Control System and Method for EDM, using a Predetermined Portion of each puls for Monitoring. Pat. USA Nr. 3997753.
54. *Ivan, M., Rusan, G.* - Studiul posibilitatilor de autoreglare a vitezei de avans la masinile unelte de prelucrare electrolitica. *Bul.St.si Tehnic al Univ. Brasov, Seria A, Mecanica*, Vol.XII, 1970.
55. *John, G., Scharfenort, U.* - Grundlagen der technologischen Optimierung der electroerosiven Senkbearbeitung. Dissertation, T.H. Magdeburg, 1976.
56. *Kelemen, A., Crivii, M.* - Motoare electrice pas cu pas. Ed. Tehnica, Bucuresti, 1976.
57. *Kelemen, A.* - Actionari electrice. EDP, Bucuresti, 1979.
58. *Knauff, U., s.a.* - Die Regelung des Processes der Funken-erosiven Metallbearbeitung. *Electric*, 29, 1975.
59. *Knauff, U., Rothe, F.* - Verhinderung Stationer Entladungen bei der funkerosiven Metallbearbeitung. *Electric*, Nr.29, 1975.
60. *Kokotchikov, V.N., Lebedev, A.A.* - Avtomaticheskii reguliator mejdelektrodnogo promejutka. Pat.USSR. Nr.759288/1980.
61. *Konig, W., Kurr, R.* - Grundlagen zur Selbstatigen Regelung der funkerosiven Bearbeitung. Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1971.
62. *Kruth, J.P.* - Adaptive Control Optimization of Electro-Discharge Machining. Thesis, K.U.Leuven, 1979.
63. *Kruth, J.P., s.a.* - In Process Optimization of Electro-Discharge Machining. 19th. Int.Mach.Tool Design and Research Conf., Manchester, G.B., Sept 1978, pag.567.
64. *Kuo, B.C., Kelemen, A.* - Sisteme de comanda si reglare incrementală a pozitiei. Ed.Tehnica, Bucuresti, 1981.
65. *Kurr, R., Barz, E.* - Adaptive Control Systeme fur die Funkenerosion. VDI Zeitschrift, 115, Nr.10, 1973.
66. *Kuznetov, M.M., Melihov, E.V.* - Influenta parametrilor sistemului de actionare a avansului asupra productivitatii masinilor de prelucrat prin eroziune electrica. *IVUZ Mashinostroenie, URSS*, Nr.4, 1982, pag.134-139.
67. *Lascoe, D.D., s.a.* - Minicomputer for on-line Process Optimization. ISEM-5, Wolfsberg, 1977, pag. 154.
68. *Lancrangean, Z.* - Contributii la prelucrarea corpurilor de revolutie prin eroziune electrica complexa. Teza de doctorat, I.P.T.V.Timisoara, 1986.
69. *Lancrangean, Z., Popovici, V., Herman, R., Reviczky-L., A., Gavrilă, Fl.* - Influenta tensiunii din spatiul de lucru asupra timpului de debitare prin eroziune electrica complexa a otelurilor bogat aliate cu crom. A IV-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1983, pag.327.
70. *Lancrangean, Z., Popovici, V., Herman, R., Reviczky-L., A., Gavrilă, Fl.* - Influenta curentului din spatiul de lucru asupra timpului de debitare si productivitatii prelucrării

- otelului bogat aliat cu crom prin eroziune electrica complexa. A IV-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1983, pag.331.
71. *Levin, A.I., Nastasii, V.K.* - Modelirovania avtomaticheskoi sistemi regulirovania mejdelektrodnogo zazora elektro-erozionnih kopirovalno-procivocinih stankov. Stanki i Instrument, URSS, Nr.11, 1980, pag.31.
 72. *Liebeskind, A., s.a.* - Metoda pentru reglarea avansului electroodului scula la prelucrarea prin eroziune electrica. Pat. Polonia Nr.106271.
 73. *Livshits, A.L.* - The Mechanism of the Electrical Discharge Process. Machines and Tooling, Nr.9, 1967.
 74. *Livshits, A.L., s.a.* - Elektroimpulsnaia obrabotka metallov. Izd. Mashinostroenie, Moskva, 1967.
 75. *Losey, J.E.* - Apparatus for Controlling Tool Feed Mechanism on an EDM Machine. Pat.USA, Nr. 4021635.
 76. *Lungu, O., Reviczky-L., A., Stanca, I., Dalca, A.M.* - Analiza pe un sistem de calcul a eficientei procesului de prelucrare prin eroziune electrica. A V-a Conferinta nationala de tehnologii necon-ventionale, Timisoara, 1989, pag.45.
 77. *Lungu, O., Reviczky-L., A., Stanca, I., Dalca, A.M.* - Conducerea cu un sistem de calcul a avansului la o masina de prelucrat prin eroziune electrica. A V-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1989, pag.49.
 78. *Markus, A., Lazar, N.* - Inteligenta tehnica romaneasca in constructia si fabricarea utilajelor de prelucrat prin electroeroziune. A V-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1989.
 79. *Marendaz, G.A.* - Le servo-mecanisme. Inf. techniques, Charmilles, Nr.11, 1968.
 80. *Marendaz, G.A.* - Procdee de comande du mouvement d'une electrode-outil et dispositif pour sa mise en ouvre. Pat. Suisse, Nr.786935.
 81. *Marcusanu, A.* - Sistem de avans cu motor pas cu pas la masini de prelucrat prin eroziune electrica. Teza de doctorat, I.P.T.V.Timisoara, 1986.
 82. *Marcusanu, A., Reviczky-L., A., Lancrangean, Z.* - Sistem de avans destinat masinilor de prelucrat prin eroziune complexa. A V-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1989, pag.174.
 83. *Marcusanu, A., Reviczky-L., A., Lancrangean, Z.* - Studiul stabilitatii sistemului de automatizare integrat masinii MEC-100. A V-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1989, pag.167.
 84. *Marcusanu, A., Reviczky-L., A., Lancrangean, Z.* - Modelarea matematica a subsistemului de automatizare a masinii de prelucrat prin eroziune electrica. A V-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1989, pag.93.
 85. *Margineanu, C., s.a.* - Dispozitiv de control pentru actionarea deplasarii electroodului scula la prelucrarea prin eroziune electrica. Proc. 3 Nat. Conf. El.Drives, Brasov, 1982, pag. 124.
 86. *Meier, V.* - New DC-motor Servo Drive for EDM Machines of Larger Dimensions. ISEM-6, Krakow, 1980, pag.124.
 87. *Militaru, C., s.a.* - Prelucrarea datelor experimentale cu calculatoare numerice. Ed.Tehnica, Bucuresti, 1980.
 88. *Mohri, N., Takezawa, H., Saito, N.* - On-the-machine measurement in EDM process by a calibration system With polyhedra. CIRP Annals v 43 n 1 1994, p.203-206.
 89. *Morris, R.L., Miller, J.R.* - Proiectarea cu circuite integrate TTL. Ed.Tehnica, Bucuresti, 1974.
 90. *Motoki, M., Kamide, I.* - Generatoare electronice pentru prelucrarea prin eroziune electrica. ISEM-4, Bratislava, 1974, pag.162.
 91. *Motoki, M.* - Tyristorized EDM Generator. The Science & Eng. Revuev of Doshisha Univ., Vol.15, Nr.3, 1974.

92. *Nanu, A., s.a.* - Sistem de reglare si stabilizare automata a avansului la masini de prelucrat prin electroeroziune. Brevet RSR, Nr.50007/1967.
93. *Nanu, A., Marcusanu, A., Nanu, D., Reviczky-L., A.* - Contributii privind realizarea unui sistem de avans automat pentru masinile de prelucrare prin eroziune electrica. A II-a Conf."Tehn.noi in constr. de masini". Galati 1977 p.115.
94. *Nanu, A., Marcusanu, A., Nanu, D., Reviczky-L., A.* - Posibilitati de conducere automata a procesului de prelucrare prin eroziune electrica. Ses. de comunic.st. "Cintarea Romaniei" Timisoara, 1977.
95. *Nanu, A., Marcusanu, A., Dragomir, E., Reviczky-L., A.* - Cercetari experimentale privind comportarea in exploatare a masinii de prelucrat prin eroziune electrica ERO-1. Bul.IPT Seria Mecanica, Tom 25/39,Fasc.1- 1980,p.137.
96. *Nanu, A., Marcusanu, A., Reviczky-L., A.* - Consideratii privind conducerea numerica a procesului de prelucrare prin eroziune electrica. Bul.IPT Seria Mecanica, Tom 25/39,Fasc.1- 1980 , p.113
97. *Nanu, A., Marcusanu, A., Reviczky-L., A.* - Sistem hibrid pentru conducerea procesului de prelucrare prin eroziune electrica. Bul.IPT Seria Mecanica, Tom 25/39,Fasc.1- 1980 , p.119
98. *Nanu, A., Nanu, D.* - Prelucrarea dimensionala prin eroziune electrica in cimp magnetic. Ed. Facla., Timisoara, 1981.
99. *Nanu, A., Reviczky-L., A.* - Simulator de impulsuri EDM. A III-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Sibiu, 1982.
100. *Nanu, A., Lancrangean, Z., Reviczky-L., A., Gavrila, Fl.* - Cu privire la sistemul automat de avans la masinile de prelucrat prin eroziune complexa a carburilor metalice. A III-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Sibiu, 1982.
101. *Nanu, A., Lancrangean, Z., Reviczky-L., A., Gavrila Fl.* - Sistem de avans pentru masina de prelucrat prin eroziune complexa electrica-electrochimica. A III-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Sibiu, 1982.
102. *Nanu, A.* - Tehnologiile neconventionale. Prezent si perspective. A III-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Sibiu, 1982.
103. *Nanu, A.* - Tehnologia materialelor. EDP, Bucuresti, 1983.
104. *Nanu, A., Marcusanu, A., Reviczky-L., A.* - Sistem de reglare automata a avansului la masina de prelucrare prin eroziune electrica ERO-1. A IV-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale , Timisoara, 1983, pag.107.
105. *Nanu, A., Marcusanu, A., Reviczky-L., A.* - Implementarea elementelor componente in structura sissemului de reglare automata a avansului la masina ERO-1. A IV-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1983, pag.113.
106. *Nanu, A., Marcusanu, A., Reviczky-L., A.* - Varianta de sistem de reglare automata a avansului la relucrarea prin eroziune electrica. Simpoz."Tehn. Neconv. mijloc de ridicare a eficientei in constr. de masini." Timisoara, 1986, pag.49.
107. *Nanu, A., Marcusanu, A., Reviczky-L., A.* - Testarea rapiditatii de raspuns a avansului la masinile de prelucrare prin eroziune electrica. Conf. nat. de echip. si tehnol. noi in constr. de masini. Craiova, 1987, vol.I, pag. 383.
108. *Nanu, A., Marcusanu, A., Reviczky-L., A.* - Conducerea automata a avansului la masini de prelucrare prin eroziune electrica. Conf. nat. de echip. si tehnol. noi in constr. de masini. Craiova, 1987, vol.I, pag. 388.
109. *Nanu, A., Lungu, O.* - Consideratii privind conducerea adaptiva a proceselor de prelucrare prin eroziune electrica. A V-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1989, pag.36.
110. *Nanu, A., Marinceu, D., Reviczky-L., A.* - Aspecte teoretice si aplicatii la prelucrarea prin eroziune electrica cu electrod masiv mobil multidirectional. A V-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1989, pag. 30.

111. *Nanu, A., Draghici, G., Reviczky-L., A.* - Masina specializata de prelucrare prin eroziune electrica a orificiilor multiple. A V-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1989, pag. 57.
112. *Nanu, D., Reviczky-L., A.* - Utilizarea descarcarilor in impuls singular pentru evidentierea efectului cimpului magnetic asupra prelucrarii prin eroziune electrica. Conf. PUPR-3, Timisoara, 1978, p.509.
113. *Nanu, D., Diaconescu, C., Duse, D., Nanu, S.* - Posibilitati de determinare teoretica a unor parametri la prelucrarea prin eroziune electrica cu rupere de contact. A IV-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1983, pag.239.
114. *Nanu, D., Brindasu, D., Oprean, C.* - Posibilitati de masurare nedistructiva a interstitiului frontal la prelucrarea prin eroziune electrica. A IV-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1983, pag.209.
115. *Nica, M., Reviczky-L., A.* - Automatizarea ciclului de lucru la debitarea prin contact electric. Conf. PUPR-4, Timisoara, 1981, vol.2, pag.65-70.
116. *Nica, M., Savii, Gh., Iclanzan, T., Reviczky-L., A.* - Tehnologii si echipamente pentru prelucrarea prin eroziune electrochimica. Acad.RSR. Memoriile sect.st. seria IV Tom IV nr.1/1981, p.269.
117. *Nichici, Al.* - Aspectul structural al actiunii tehnologice la prelucrarea prin eroziune. Buletinul stiintific si tehnic, Seria Mecanica, Fasc. 2 Tom 23 (37), IPTV Timisoara, 1978.
118. *Nichici, Al.* - Tehnologia materialelor. I.P."Traian Vuia"Timisoara, 1980.
119. *Nichici, Al.* - Aspecte energetice ale tehnologiilor de prelucrare prin eroziune. A IV-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1983, pag.101.
120. *Nichici, Al., s.a.* - Prelucrarea prin eroziune in constructia de masini. Ed. Facla, Timisoara, 1983.
121. *Obaciu, Gh., s.a.*- Dispozitiv de avans pentru prelucrari neconventionale (prin electroeroziune). Brevet RSR Nr.93384.
122. *Obaciu, Gh.* - Stand pentru testarea functionalitatii sistemelor electromecanice de avans. Constructia de masini 36 (1984)Nr.10, pag.536.
123. *Van Osenbruggen, C.* - Microvorkverspaning. Phillips Technisch Tijdschrift, Nederland, 1969, Nr.6/7, pag.200.
124. *Pal, N.N., s.a.* - Optimizarea unui circuit de relaxare pentru prelucrarea prin eroziune electrica. Materialele Conferintei nationale de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1971, pag.49.
125. *Pelegriin, M, s.a.* - Elementele sistemelor de reglare automata. Ed. Tehnica, Bucuresti, 1963.
126. *Popa, H., Nichici, Al.* - Tendinte in evolutia utilajelor si structurilor de fabricatie. A III-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Sibiu, 1982.
127. *Popescu, I.* - Optimizarea proceselor de aschiere. Ed. Scrisul romanesc, Craiova, 1987.
128. *Popilov, D.I.* - Elektrofiziceskaia i elektrohimiceskaia obrabotka materialov. Mashinostroenie, Moskwa, 1982.
129. *Popovici, I.* - Influenta factorilor prelucrarii asupra ponderii descarcarilor efective la prelucrarea prin eroziune electrica. A IV-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1983, pag.75.
130. *Popovici, V.* - Reglarea interstitiului de lucru, factor de optimizare la prelucrarea prin eroziune complexa. A IV-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1983, pag.321.
131. *Popovici, I., Lancrangean, Z., Marcusanu, A., Herman R., Marinceu D., Reviczky-L., A.* - Instalatie semiautomata destinata realizarii fantelor longitudinale in semifabricate tubulare. Cerere pentru brevet de inventie Nr.0083/1991. IP Timisoara.
132. *Racoveanu, N.* - Automatica. Ed.Militara, Bucuresti, 1980.

133. *Rayurkan, K., et al.* - Digital Gap monitor and adaptive control for auto-jumping in EDM. Proc. of the 1993 ASME Winter Annual Meeting, PED v 64 1993, New York, NY, USA, p.667-674.
134. *Resa, D.I.* - Probleme de statistica rezolvate pe calculator. Ed. Facla, Timisoara, 1984.
135. *Reviczky-L., A., Nanu, A.* - Analizor de impulsuri pentru prelucrarea prin eroziune electrica. Simpoz. "Tehn. Neconv. mijloc de ridicare a eficientei de masini." Timisoara, 1986, pag.43.
136. *Reviczky-L., A., Nanu, A.* - Echipament pentru urmarirea desfasurarii procesului de prelucrare prin eroziune electrica. Ses. "TEHNIC-2000", Timisoara, 1986, pag.179.
137. *Reviczky-L., A., Lancrangean, Z.* - Consideratii asupra surselor de alimentare cu energie a spatiului de lucru la prelucrarea prin eroziune electrica complexa. Simpoz. "SITNEC-1", Birlad, 1988, pag.243.
138. *Reviczky-L., A.* - Sistem electromecanic de reglare al avansului la masini de prelucrat prin eroziune complexa. A V-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1989, pag.162.
139. *Reviczky-L., A., Marcusanu, A., Slavici, T.* - Solutie pentru automatizarea ciclului de lucru la masina de debitat prin eroziune electrica complexa. A V-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1989, pag.157.
140. *Reviczky-L., A.* - Optimizarea avansului la masini de prelucrat prin eroziune electrica. Com. "Zilele Academice Timisorene", Mai, 1993.
141. *Reviczky-L., A.* - Sistem de comanda extremala a avansului pentru masini de prelucrare prin eroziune electrica. A VI-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1993, pag.77.
142. *Reviczky-L., A.* - Consideratii asupra optimizarii parametrilor de comanda ai avansului la masini de prelucrare prin eroziune electrica. A VI-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1993, pag.69-76.
143. *Reviczky-L., A., s.a.* - Dispozitiv pentru prelucrarea prin eroziune electrica a implantelor dentare surub. Analele Universitatii din Oradea, Fasc. mecanica, 1997, pag. 77.
144. *Rhyner, H., et al.* - Procèdes et dispositif de controle de l'efficacite de l'etincelage dans une machine a usiner. Pat. Suisse, Nr.585607/1977.
145. *Roman, I., Gogoasa, I., Manitiu, C.* - Tehnologii neconventionale de prelucrare in constructia de masini. A IV-a Conferinta nationala de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1983, pag.29.
146. *Sasaki, K.* - Characteristics of Optimal Controlled EDM. ISEM-4, Bratislava, 1974.
147. *Sato, K. et al.* - Electric Discharge Machining Method. US Pat., Nr.4221952/1980.
148. *Schreiber, E., Lixandroi, D.* - MathCAD. Prezentare si probleme rezolvate. Ed.Tehnica, Bucuresti, 1994.
149. *Schumacher, B.* - Generatoare statice de impulsuri complet tranzitorizate pentru prelucrarea prin eroziune electrica. Materialele Conferintei nationale de tehnologii neconventionale, Timisoara, 1971, pag.203.
150. *Semon, G.* - Guide pratique d'usage par etincelage. Ateliers de Charmilles, 1974.
151. *Senecky, L., Sveitz, I.* - Functional Groups of EDM Machines. ISEM-4, Bratislava, 1974, pag.141.
152. *Slavici, T.* - Teza de doctorat, Timisoara, 1992.
153. *Slavici, T.* - Conducerea cu calculatorul a sistemelor tehnologice. Lito UP Timisoara, 1996
154. *Snoyes, R., Cornelissen, H.* - Correlation Between Electro Discharges Machining Data and Machining Settings. Annals of the CIRP, Vol.24/1/1975.
155. *Sosenko, A.B.* - Davlenie v mejdelektroдном zazore elektroerozionnoi obrabotke. Stanki i instrument, Nr.1, 1976.
156. *Steiman, I.M.* - Ustroistvo dlia regulirovania mejdelektrodnogo zazora. Pat. USSR, nr.761218/1980.

157. *Svesnikov, B.K.* - Bistodeistvuiuscii elektroghidravlicheskoj slediascii privod podacii dlia elektro-eroziionnih stankov. *Stanki i instrument*, Nr.5, 1980, pag.13.
158. *Svesnikov, B.K.* - Nekotoriie osobestnosti regulirovania processa peremesenia elektroda v elektroimpulsnih stankov. *Elektrofiziceskie i elektrohimiceskie metodi obrabotki materialov*, Nr.9, 1977.
159. *Svesnikov, B.K.* - Elektroghidravlicheskie slediascie privodi dlia elektroeroziionnih stankov. *Stanki i instrument*, Nr.9, 1977.
160. *Szinczak, A.* - Studiul regulatorului interstitiului la masinile de prelucrat prin electroeroziune. *Mechanic*, Polonia, 55, Nr.2, 1982, pag.79-82.
161. *Taloi, D.* - Optimizarea proceselor tehnologice. *Aplicatii in metalurgie*. Ed. Acad.RSR, Bucuresti, 1987.
162. *Tanimura, T., Heuvelman, C.J.* - The Properties of the Servo Gap Sensor with Wire Spark-Erosion Machining. *Annals of the CIRP*, Vol.25/1/1977.
163. *Tiron, M.* - Prelucrarea statistica a datelor de masurare. Ed. Tehnica, Bucuresti, 1976.
164. *Tseng, M.M.* - A Sistematic Approach to the Adaptive Control of the Electro Discharge Machining Process. *Journal of the Eng. for Industry*, Aug. 1988, Vol.100, pag.303-309.
165. *Viacoslavov, A.V., Zolotykh, B.N.* - Mathematical Modell of Precision Electro-Discharge Machining. *ISEM-8*, Moskow, 1986, pag.4.
166. *Weigand, W.* - Procese de descarcare si eroziune si reglarea avansului la masinile de prelucrat prin electroeroziune. *Industrie Anzeiger*, 91, Nr.1, 1969.
167. *Weck, M., Drehmer, J.M.* - Der geregelte Verschleiss. *Fertigungstechnik*, VDI-Z 134 (1992), Nr.3 - Marz, pag.97.
168. *Zammit, F.X.* - Electrical-Discharge Machining with Step Driven Electrode. *Pat.USA*, Nr.3.531.615/1970.
169. x x x - Sullyesztokes szikraforgacsolas technologiaja. *Magyar Hivadastechnikai Egyesules*, Budapest, 1986.
170. x x x - Cartea tehnica a masinii de prelucrare prin eroziune electrica ELER 01. *Intreprinderea ELECTROTIMIS Timisoara*, 1978
171. x x x - Huzzal-szikraforgacsolas technologiaja. *Magyar Hivadastechnikai Egyesules*, Budapest, 1986.
172. x x x - Ghid pentru proiectarea tehnologiei de prelucrare prin eroziune electrica cu masini de tip ELER, echipate cu generatoare de impulsuri GEP-MF. *Contr. de cercet. st. intre IP Timisoara si I. Electrotimis din Timisoara*, 1985-1986.
173. x x x - Documentatii tehnice ale masinii de prelucrare prin eroziune electrica cu electrod filiform ELEROFIL 10. *Intreprinderea ELECTROTIMIS Timisoara*, 1982.

8. ANEXE.

Anexa A.

Programul de citire a traductorilor de pozitie.

```
float trad (int axa) {
    unsigned long impuls=0L;
    int i, result[4], port;
    long rez;
    int tab1[4] = {0x5, 0xf, 0x4, 0xe}; //s-a schimbat de la 5,7,4,6
    int tab2[4] = {0x9, 0xb, 0x8, 0xa};
    int tab3[2] = {0xd,0xc};
//    clrscr();
//    printf("\n");
    for (i=0; i<=3; i++) {
        if(axa==0) port=ADRTIRO+tab1[i];
        else if(axa==1) port=ADRTIRO+tab2[i];
        result[i]=inportb(port);
//        printf(" i=%d r[i]=%d",i, result[i]);
    }
//    printf("\n %3d %3d %3d %3d", result[1], result[3], result[0], result[2]);
    impuls=1L*result[1]+256L*result[3]+256L*256*result[0];
//        +256L*256*256*result[2]; // nu au rost 4 octeti
    rez=(impuls-262144);
//    printf("\n imp=%9li", impuls);
//    printf("\n rez=%d", rez);
    return 0.001*rez*TRAD;
}
```

Anexa B.Programul de interpolare liniara si circulara.

```

void algoritm( double x54, double y54, double x64,
              double y64, double i54, double j54) {
//      double xi=x54, yi=y54; // coordonate curente
int  nrscurt=0, inceput_fraza=10, sm, f2, sc=0, rev=0, z2=0, kbst=0;
long int ilp=0;
int  g=0, se1=1, se2=1;
double delta;
float panta;
float x21, y21; // pune-le double
unsigned int lsb,msb,nou,vechi=0;
float num=x64-x54;
x21=trad(0); y21=trad(1);
printf("\n simulati val citite la inceput fraza x21,y21 =");
scanf("%f%f", &x21, &y21);
x54=x21; y54=y21; // imbunatatire pt. a pleca din poz. momentan
x20=x54; y20=y54; //PROTECTIE PT. A NU DETERIORA ALGORITMUL
if (num==0) sm=-1;
else { panta=(y64-y54)/(x64-x54);
       if (panta>=0) sm=-1; else sm=1; }
if (x54<x64) se1=1; else se1=-1;
if (y54<y64) se2=1; else se2=-1;
//      while ( !(fabs (x20-x64) <= 5*pas && fabs(y20-y64) <= 5*pas) ) {
//      while ( (fabs (x20-x64) >= 5*pas) | (fabs(y20-y64) >= 5*pas) ) {
//          g++; //inceput_fraza--; //intirziere la inceput de fraza
//          iff (inceput_fraza >0)
//              delay(timp); // !
//          if (kbstatus() & 0x01) {
//              delay(50);
//              outport(0x37a, inp(0x37a) & 0xfb); exit(1); // ROGIF NU
//          } /* oprire cu shift dreapta */
//          printf("\n in  nou=%d vechi=%d", nou,vechi);
//          nou=inportb(ADRTIRO-0xd); // AXA 3 TIRO
//          iff(regim=='p' || regim=='P')
//              scurt=((inport(0x379) & 0x80); // LPT pin 11<->bit7
//          gotoxy(2,0);
//          printf("\n in scurt=%d nou=%d vechi=%d regim=%c", scurt,nou,vechi,regim);
//          iff((nou!=vechi) && (scurt==0)) /* = 1 pt. ADAcdt prelucrare */
//          if (kbstatus() & 0x02) /* conditie simulata cu SHIFT STG */
//              {
//                  gotoxy(2,0);
//          printf("\n in scurt=%d nou=%d vechi=%d regim=%c", scurt,nou,vechi,regim);
//                  ilp++; nrscurt=0;
//                  if (ind==1) {
//                      iff(y54==y64) delta=0;
//                      else iff(x54==x64) delta=1.;
//                      else {delta=sm*((x64-x54)*(y20-y54)+y64-y54)*(x20-x54));;
//                          else
//                              {delta=sm*((x64-x21)*(y20-y21)+y64-y21)*(x20-
x21));}
//          // 1) x,y20 -> x,y21 pt ca dupa citire coord teoretice trebuie
//          // actualizate realizeaza la citirig%140
//          // 2) x,y54 -> x,y21 pt a redefini seg. ramas de executat

```

```

    }
    else { // interpolare circulara
        delta=((x20-i54)*(x20-i54)-(x54-i54)*(x54-i54)
            +(y20-j54)*(y20-j54)-(y54-j54)*(y54-j54)) * cadran
    }
    if (ind==3) delta=-delta;
    }
    if ( delta>0 || num==0 ) {
        axay(); // delay(1000); clrscr();
        y20=y20+se2*pas; // y20=yi;
    }
    else { if(delta<=0){
        axax(); // delay(1000); clrscr();
        x20=x20+se1*pas;
    }
    // else{ axaxy();
    // x20=x20+se1*pas; y20=y20+se2*pas;}
    }
    if((g%170)==0) { // GRAFIC //g%170
        kxy=2;
        putimage(250+x20*kxy,200-y20*kxy,buf4,OR_PUT);/*
printare poz. scula */
        if(kbstatus() & 0x01) { exit(1);} /* oprire cu shift dreapta */
        if(kbstatus() & 0x01) { //oprire cu SHIFT dr.
            delay(50);
            outport(0x378, inp(0x378) & 0xfb); // exit(1); //
        }
        while(z2==0) {
            kbst=kbstatus();
            z2=kbst & 0x02; // remain
        }
    }
    // operatorul semnalind prin apasarea lui SHIFT stg
    // }
    // outport(0x378, inp(0x378) | 0x04); // ROGIF DA
    // z2=0;
    // } /* oprire cu shift dreapta */
    }
    push3(x20); push5(y20);
    gotoxy(4,25);
    sprintf(buf3,"x=%6.3f y=%6.3f",x20,y20);
    // outtextxy(20, 300, buf3); /* varianta pt. HERCULES */
    puts(buf3); /* varianta pt >=CGA */
    // if (!(regim=='V' || regim=='v')) { // la vizualizare nu ma leg de masina
    if((g%140)==0) { // 140 VARIANTA CU UN SEGMENT DE CORECTIE
        x21=trad(0); y21=trad(1);
        // delay(5);
        // gotoxy(2,3);
        // printf("\n simulati val citite x21,y21 =");
        // scanf("%f%f", &x21, &y21);
        // fprintf(fpo, "\n citiri x21=%5.3f y21=%5.3f ",x21,y21);
        // se1=se1; se2=se2; //salvare pt. a nu fi afectate de alg1;
        // gotoxy(2,2);
        // printf("\n prel ilp=%9li delta=%5.3f x21=%7.3f y21=%7.3f x20=%6.3f
y20=%6.3f ",
        // ilp,delta,x21,y21,x20,y20);
        // fprintf(fpo, "\n prel ilp=%d delta=%5.3f x21=%5.3f y21=%5.3f x20=%5.3f
y20=%5.3f ",
        // ilp,delta,x21,y21,x20,y20);
        // delay(1000);
    }

```

```

//          if ( ( fabs ( x20-x21) >= GROSOLAN || fabs(y20-y21) >= GROSOLAN)
){
//          printf("\n CITIRE GRESITA"); exit(1);}
//          x20=x21; y20=y21; // 1) pt. ca teoreticele sa fie reale
//          num=x64-x21;
//          if (num==0) sm=-1;
//          else { panta=(y64-y21)/(x64-x21);
//                                     if (panta>=0) sm=-1; else sm=1; }
//          if (x20<x64) se1=1; else se1=-1;
//          if (y20<y64) se2=1; else se2=-1;
//          algoritml(x21,y21,x20,y20); // !!!!
//          }
//          se1=se11; se2=se22; // restaurari
//      }
//  }
//      delay(500); // ! SIMULARE
//      vechi=nou+syncro; sc=0; // ! SIMULARE
//  } // inchid prelucrarea
else { /* else de la if prelucrare deci scurt+revenire */
//      scurt=inport(pa) & 0x01; // pe ADA
//      if(regim=='p' || regim=='P')
//          scurt=((inport(0x379)) & 0x80); // LPT pin 11,bit7
//      /* mascare biti 1=7-> scurt=bit0=PA08255 = pin 37 ADA1100 */
//      while (kbstatus() & 0x04) /* conditie simulata cu ALT */
//      while (scurt!=0) /* retragere din scurt */
//      {
//          if(regim=='p' || regim=='P')
//              scurt=((inport(0x379)) & 0x80); // LPT pin 11,bit7
//          nrscurt++;
//          if(sc!=0) ilp--;
//          sc=1;
//          delay(1000); // SIMULARE
//          f2=pop1(); outport(0x378,f2); // trimitere sens inainte de tact
//          fprintf(fpo,"\n sens  x20=%5.3f y20=%5.3f f2=%x ",x20,y20,f2);
//          push2(f2 ^ 0x30);// schimbat semnul p
//          delay(v);
//          f2=pop1 (); /* scoatere din stiva urmata de outporturi */
//          x20=pop3(); y20=pop5(); push4 (x20); push6(y20);
//          gotoxy(4,25);
//          sprintf(buf3,"x=%6.3f y=%6.3f ",x20,y20); puts(buf3);
//          delay(300); //simulare
//          gotoxy(2,3);
//          printf("\n popscurt ilp=%9li index1=%d noul virf=%x f2=%x nrscurt=%d",
//              //          ilp,index1, tabs1[index1], f2.
nrscurt);
//          fprintf(fpo, "\n popscurt ilp=%d index1=%d noul virf=%x f2=%x sc=%d",
//              //          ilp, index1, tabs1[index1], f2, nrscurt);
//          outport (0x378, f2); rev=0;
//          fprintf(fpo,"\n front 1  x20=%5.3f y20=%5.3f f2=%x ",x20,y20.f2);
//          i1= f2 & 0x0f; // pt. a nu fi salturi motor/ la var. EPROM
//          i3= f2 & 0xf0;
//          // ce scot din s1 pun in s2 pt. eventuala rev.); */
//          push2(f2 ^ 0x30);// schimbat semnul prin sau exclusiv cu masca
//          //0x30=0011 0000, bitii 4=sx,5=sy ^1->complementati,restul neschimbat
//          printf("\n pushscurt index2 %d %x", index2, tabs2[index2]);
//          f2=pop1(); outport(0x378,f2); // al doilea front al tactului
//          fprintf(fpo,"\n front 2  x20=%5.3f y20=%5.3f f2=%x ",x20,y20.f2);

```



```

        push2(f2 ^ 0x30); // schimbat semnul
//      printf("\ns=%d",nrscurt);
        if (nrscurt > N1) {
            //      printf("scurt");
            gotoxy(2,9);
            printf (" scurt prelungit apasati SHIFT STANGA dupa remediere nr=%d
N=%d", nrscurt, N);
            outport(0x378, inp(0x378) & 0xfb); // ROGIF NU
            while(z2==0) {
                kbst=kbstatus();
                z2=kbst & 0x02; // ramain in bucla pana se remediaz
                // operatorul semnalind prin apasarea lui SHIFT stg
            }
            z2=0; //      exit(1);
            gotoxy(2,9);
            printf (" ");
            outport(0x378, inp(0x378) | 0x04); // ROGIF DA,
        }
    } // s-a terminat while scurt
} /* inchid else scurt+revenire */
while (ilp<0) { // situatia in care scurtul a dus la intrarea
// in fraza prec. si trebuie sa fac revenire din scurt
    if(rev!=0) ilp++;
    rev=1;
    f2=pop2();
//      delay(1000); // pt. simulare !
    outport(0x378,f2); push1(f2^0x30);
//      i1=f2 & 0x0f; i3=f2 & 0xf0;
    f2=pop2();outport(0x378,f2); push1(f2^0x30); // al doilea front al unui tact
    f2=pop2();outport(0x378,f2); push1(f2^0x30); // al treilea outport
//      gotoxy(2,4);
//      printf("\n rev<OPREL ilp=%9li index2=%d noul virf=%x f2=%x sc=%d",
//      ilp, index2, tabs2[index2],
f2, nrscurt);
//      fprintf(fpo, "\n revenire ilp=%d index2=%d noul virf=%x f2=%x sc=%d",
//      ilp, index2, tabs2[index2], f2, nrscurt);
//      x20=pop4();y20=pop6();push3(x20);push5(y20);
//      delay(300); // SIMULARE
//      gotoxy(4,25);
//      sprintf(buf3,"x=%6.3f y=%6.3f ",x20,y20);
//      puts(buf3);
}
// delay(150); //!!!!!!! NUMAI PT. SIMULARE
// gotoxy(2,1);
// printf("\n ilp=%9li x20=%f y20=%f sc=%d se2=%d", ilp, x20, y20, nrscurt, se2);
// fprintf(fpo, "\n ilp=%d xi=%f yi=%f sc=%d", ilp, xi,yi, nrscurt);
vechi=nou+syncro;
} /* inchid while mare atingere cota finala */
// x21=trad(0); y21=trad(1); // penru fraza urmatoare
// if (!(regim=='V' || regim=='v'))
//      algoritml(x21,y21,x64,y64); // corijarea de sfirsit de fraza
}

```

Anexa C.Subrutina de tratare a intreruperii

```

/* manee3.c- comanda manuala elerofir- incremental si cont
   cu detectare OP si OM */
/* CITIRE TRADUCTORI */
#include<stdio.h>
#include<conio.h>
#include<dos.h>
#include<graphics.h>
#include<iostream.h>
#define ADRTIRO 0x330
#define MINX 0x00 // 0x06
#define MINY 0x00 //0x60
#define TRAD 1 // =2 pt. YAL-K =1 pt. J.HEIDENHEIN
#define PAS 0.0005 // 0.001 BUL 0.0003 Oradea+TM ?? 0.0005TM
#define INTR 0x0F // intrerup hard asociata lui IRQ7
#ifdef __cplusplus
    #define __CPPARGS ...
#else
    #define __CPPARGS
#endif
unsigned int i1,i2,i3,i4, v=1, v1=6*TRAD, k2=0, k, ms=0xff;
char var; // dicteaza modul de lucru al subrutinei tratare intrerupere
int count=0, count1=0;
int a1=1, a2=1, f1, se1, se2;
float x20=0, y20=0, x21,y21;
char fel,c,omop[10]="omop";
FILE *fpo, *fomop;
void manualcont (void);
void manualincr (void);
int modifica (void);
schimba_viteza(void);
void tastatura (void);
int kbstatus (void);
void delay1 (int);
float trad (int);
void pupitru (void);
void interrupt ( *oldhandler)(__CPPARGS);
void axax(void);
void axay(void);
void interrupt handler(__CPPARGS) {
    int avarie,z2=0,kbst;
    char *string;
    // continutul subrutinei de tratare intrerupere HARD-IRQ7 generata la pinul 10(ACK) LPT, care este
    // totodata bitul 6 al octetului (deci masca si=0100 0000=0x40) citibil inp(0x379)//
    disable();
    outportb(0x21,inp(0x21)|0x80);
    outportb(0x20,0x20);
    outport(0x37a, inp(0x37a) & 0xfb); // ROGIF NU
    count++;
    if (fel=='o' || fel=='O') v1=1;
    // Pt. a se face cel mult un pas din momentul intreruperii gotoxy(50,50); //
    delay(5000); // NU AICI ASTEPTARE//

```

```

printf("COUNT= %d sint in subrutina ",count);
oldhandler();

outportb(0x37a,inp(0x37a) | 0x01); // bit 0(pin1) pus pe 0 pt. E555,
// respectiv pe 1 in instructiunedat. complementarii,
// ramnere pe palier pana la aceasta resetare
delay(20);
outportb(0x37a,inp(0x37a) & 0xfe); // repus pe 1=stare normala (0compl)
// outport(0x37a, inp(0x37a) |0x04); // ROGIF DA,
outportb(0x21,inp(0x21)&0x7f); // revalidare irq7
// }
}
void main (void) {
    int pin14,f3, z5=0, kbst;
    long l;
    char car, oldIMR, newIMR, comanda;
    int graphdriver=DETECT,gmod;
    outport(0x37a, inp(0x37a) & 0xfb); // ROGIF NU
    outport(ADRTIRO,0); // INITIALIZARE placa AXA la inceput
// outport(ADRTIRO+0x00,'b'); // reset simultan pt.cele 3 canale TIRO
outport(ADRTIRO+0x5,0x4); //inscriu in octetul lsbmsb 0000.0100 ->
outport(ADRTIRO+0x9,0x4); // o axa este initializata cu 2^18=262.144
x21=trad(0);
y21=trad(1);//citire initiala pt. a se stabili master-slave
printf("\n poz citita x21=%6.3f y21=%6.3f", x21, y21);
initgraph(&graphdriver,&gmod,"c:\\bc\\bgi");
/* ecranul de prezentare */
clrscr();
setcolor(RED);
setbkcolor(CYAN);
settextstyle(0,0,3);
outtextxy(10,110,"COMANDA MANUALA");
settextstyle(0,0,2.5);
setcolor(BLUE);
outtextxy(5,220,"POLITEHNICA & ELECTOSTAR TIMISOARA");
delay(2000);
closegraph();
printf("test1");delay(500);
// if((fomop=fopen(omop,"rw+"))==NULL){
// printf("test1");delay(500); puts("nu pot deschide fisierul OMOP");
// return;
// }
clrscr();
gotoxy(2,2);
// while(!feof(fomop)){ //fisier cu coordonatele OpOm
// c=getc(fomop); /* citire cite un caracter */
// printf("%c",c);
// }
// fclose(fomop);
while(1) { // ciclu infinit-iesire cu CTRL-BREAK
// clrscr();
gotoxy(2,3);
printf("\n deplasare continua sau incrementala ? C sau I");
printf("\n cautare OMasina sau regim manual obisnuit ? O,Q sau M");
printf("\n comanda pupitru comanda sau tastatura PC? ? p sau t\n");
cin>>car>>fel>>comanda;
// scanf("%c %c %c", &car, &fel, &comanda);//NU VREA

```

```

if (fel=='o' || fel=='O') {
    oldhandler = getvect(INTR);
    setvect(INTR, handler);
    outp(0x37a,inp(0x37a)|0x10); //
    outportb(0x21,inp(0x21)&0x7f);
    outportb(0x20,0x20);
}
outport(0x37a, inp(0x37a) & 0xfd); // am citit starea existenta
//bitul 1=pin 14 pus pe 1 aici-> compl=0-> regim manual,
// masca &0Xfd=1111 1101 restul neschimbati si trimis inapoi
outport(0x37a, inp(0x37a) & 0xfb); // ROGIF NU
outportb(0x37a,inp(0x37a) | 0x01); // bit 0(pin1) pus pe 0(compl 1) pt. E555,
delay(20);
outportb(0x37a,inp(0x37a) & 0xfe); // 555 1=0complstare normala-bit0(pin1)
if (fel=='o' || fel=='O') {
//      outport(ADRTIRO+0x00,'b'); // reset simultan pt.cele 3 canale TIRO
//      outport(ADRTIRO+0x5,0x4); //inscriu in octetul lsbmsb 0000.0100 ->
//      outport(ADRTIRO+0x9,0x4); // o axa este initializata cu 2^18=262.144
count=0;      printf("\n count= %d ", count);
if (comanda=='p' || comanda=='P') { // comanda pupitru
    pupitru(); }
// de la tastatura sau panou selectia se face prin pin 17- bit 3
else { // COMANDA PC tastatura
    outport(0x37a, inp(0x37a) & 0xf7); } //selectie comanda tastatura
if ( car=='c' || car=='C' )
    { manualcont(); }
if (car=='i' || car=='I')
    manualincr();

    clrscr();
    setvect(INTR, oldhandler); // restaurare old
} // inchidere while ciclu infinit
fclose(fomop);
}
void pupitru (void) {
    int z5=0, kbst=0;
    clrscr();
    gotoxy(5,10);
    printf("\n COMANDA DE LA PUPITRU");
    printf("\n apasati CAPS-LOCK pt. iesire din acest mod de lucru\n");
//      fopen(omop,"r");
//      while(!feof(fomop)){ //fisier cu coordonatele OpOm
//          c=getc(fomop); /* citire cite un caracter */
//          printf("%c",c);
//      }
    outport(0x37a, inp(0x37a) | 0x08); // selectie comanda manuala pupitru
    while (z5==0){ //CAPS-LOCK
        kbst=kbstatus();
        z5=(kbst & 0x40); // CAPS LOCK-OUT
        x21=trad(0); y21=trad(1);
        gotoxy(5,17);
        printf(" poz citita x21=%6.3f y21=%6.3f COUNT=%d", x21, y21, count);
    }
}
float trad (int axa) {
    unsigned long impuls=0L;
    int i, result[4], port;
    long rez;

```

```

int tab1[4] = {0x5, 0xf, 0x4, 0xe}; //s-a schimbat de la 5,7,4,6
int tab2[4] = {0x9, 0xb, 0x8, 0xa};
int tab3[2] = {0xd,0xc};
//
// clrscr();
// printf("\n");
for (i=0; i<=3; i++) {
    if(axes==0) port=ADRTIRO+tab1[i];
    else if(axes==1) port=ADRTIRO+tab2[i];
    result[i]=inportb(port);
//
// printf(" i=%d r[i]=%d",i, result[i]);
}
//
// printf("\n %3d %3d %3d %3d", result[1], result[3], result[0], result[2]);
impuls=1L*result[1]+256L*result[3]+256L*256*result[0];
//
// +256L*256*256*result[2]; // nu au rost 4 octeti
rez=(impuls-262144);
//
// printf("\n imp=%9li", impuls);
//
// printf("\n rez=%d", rez);
return 0.001*rez*TRAD;
}
void manualcont (void){ // manual continuu
int kbst,z1=0,z2=0,z3=0,z4=0,z5=0,g=0,z8=0, tasman=0;
int g1=0,g2=0;
//
// float long x21,y21; // poz.citite
i1=6; i2=15; i3=0x60; i4=0xf0;
clrscr();
gotoxy(5,9);
printf("\n POZITIONARE CONTINUA DE LA TASTATURA");
printf("\n mentineti apasat shift dr. -> X-, shift stg. -> X+");
printf("\n      ctrl -> Y+, alt -> Y-");
printf("\nCAPS LOCK pt. terminare mod de lucru continuu de la tastaura \n");
printf("\n mentineti apasate NUM LOCK sau SCROLL LOCK");
printf("\n atit timp cit doriti marirea sau micorarea vitezei");
printf("\n apasati INSERT pt. preluare OPiesa <=> centrare\n");
//
// fopen(omop,"rw+");
//
// while(!feof(fomop)){ //fisier cu coordonatele OpOm
//
//     c=getc(fomop); /* citire cite un caracter */
//     printf("%c",c);
//
// }
while( z5==0) { // ramanere in bucla cu CAPS-LOCK
if ((fel=='O' || fel=='o' || fel=='q' || fel=='Q')
    && (count!=count)) { // DECI VALIDEZ impuls nul
//varianta ORADEA -Om nu mai pune pe 0 numarat. ci numai atentioneaza
//operaorul de gasirea ei si afiseaza si memoreaza dist OpOm
switch(var) {
case 'x': //xX0Masina IRQ7 ceruta de impuls de pe rigla
//
//     output(ADRTIRO+0x5,0x4); //inscriu in octetul lsbmsb 0000.0100 ->
//     output(ADRTIRO+0x7,0x00); output(ADRTIRO+0x6,0x00);
gotoxy(2,2);
x21=trad(0); x20=x21;
printf(" FIX PUNCT X XOM fata de XOP =%.3f", trad(0));
delay(4000);
gotoxy(2,2); printf("
");
if ( fel=='q' || fel=='Q') { //resetare
}
if( fel=='o' || fel=='O')
fprintf(fomop, "\n DXOpOm=%.3f", trad(0));
break;
}
}
}

```

```

case 'y': // YOMasina IRQ7 ceruta de impuls de pe rigla
        //      outport(ADRTIRO+0x9,0x4); // o axa este initializata cu 2^18=262.144
        //      outport(ADRTIRO+0xb,0x00); outport(ADRTIRO+0xa,0x00);
        y21=trad(1); y20=y21;
        gotoxy(2,4);
        printf(" FIX PUNCT Y YOM fata de YOp =%6.3f", trad(1));
        delay(4000);
        gotoxy(2,4); printf("                ");
        if ( fel=='q' || fel=='Q' ) { //resetare
                }
        if( fel=='o' || fel=='O' )
                fprintf(fomop,"n DYOpOm=%6.3f", trad(1));
        break;

default: break;
} // sfarit switch
} // sfarsit if OM
printf(" count=%d count1=%d", count, count1);
count1=count;
//      outp(0x37a,inp(0x37a)|0x10); // ??????????????
kbst=kbstatus();
//      printf(" kbst=%x var=%c", kbst, var);
z1=((kbst & 0x01)); // | (!(inport(0x379) & 0x80)); //X-
z2=((kbst & 0x02)); // | ((inport(0x379) & 0x20)); //X+;
z3=((kbst & 0x04)); // | ((inport(0x379) & 0x10)); //y+;
z4=((kbst & 0x08)); // | ((inport(0x379) & 0x08)); //y-;
//      tasman=inport(0x379); printf("n man=%x ", tasman);
z5=(kbst & 0x40); // CAPS LOCK-OUT
z8=(kbst & 0x80); //INSERT- OPiesa valid
if(z1) { se1=0; axax(); var='x'; x20=x20-v1*PAS; x21=trad(0);}
else {
        if(z2) { se1=1; axax(); var='x'; x20+=v1*PAS; x21=trad(0); }
        else {
                if(z3) { se2=1; axay(); var='y'; y20+=v1*PAS; y21=trad(1); }
                else {
                        if(z4) { se2=0; axay(); var='y'; y20-=v1*PAS; y21=trad(1); }
                        else {
                                if(z8) { // pt. INSERT Op
                                        // OPOPM O singura data
                                        switch(var) {
                                                case 'x': // INSERT -> validez centrare <=> pun la 0 numarar
                                                        g1++;
                                                        //      if(g1==1) {
                                                        //      gotoxy(2,15);
                                                        // varianta ORADEA la centrare Op pun pe 0 traductor NU MEMOREZ nimic
                                                        //      printf(" XOPiesa fata de XOMasina =%6.3f", trad(0));
                                                        //      fprintf(fpo,"n XOPiesa fata de XOMasina =%6.3f", trad(0));
                                                        outportb(ADRTIRO+0x5,0x4); //inscriu in octetul lsbmsb 0000.0100 ->
                                                        outportb(ADRTIRO+0xf,0x00); //s-a schimabat adresa de la 0x7
                                                        outportb(ADRTIRO+0x4,0x00);
                                                        outportb(ADRTIRO+0xe,0x00); //s-a schimbat de la 0x6
                                                        x21=trad(0); x20=x21;
                                                        //      }
                                                        break;
                                                case 'y': // valdez centrare y
                                                        g2++;
                                                        //      if(g2==1) {
                                                        //      gotoxy(2,16);

```

```

//      printf(" YOPiesa fata de YOMasina =%6.3f", trad(1));
//      fprintf(fpo, "\n YOPiesa fata de YOMasina =%6.3f", trad(1));
//      outportb(ADRTIRO+0x9,0x4);// delay(1);// o axa este initializata cu
2^18=262.144
//      outportb(ADRTIRO+0xb,0x00);// delay(1);
//      outportb(ADRTIRO+0x8,0x00);// delay(1);
//      outportb(ADRTIRO+0xa,0x00);// delay(1);
//      y21=trad(1); y20=y21;
//      }
//      break;
//      }}
//      else schimba_viteza();
//      }}}}
gotoxy(5,20);
printf(" poz nominala x20=%6.3f y20=%6.3f v=%4d", x20,y20,v1);
printf("\n poz citita x21=%6.3f y21=%6.3f", x21, y21);
} // inchid while
fclose(fomop);
}
int kbstatus(void){
union REGS ireg;
ireg.h.ah=0x02;
int86(0x16,&ireg,&ireg);
return ireg.h.al;
}
schimba_viteza (void) {
int kbst2, z5, z6;
//      k2++;
//      if ((k2 % 1000) != 0) /* nu intru in functie decit la 1000-apasare */
//      { v=v; return;}
kbst2=kbstatus();
delay(1000); // viteza de schimbare printf("\n kbst2=%x", kbst2);
z5 = kbst2 & 0x10; // starea scroll-lock
z6 = kbst2 & 0x20; // starea num-lock
if (z5) /* dublare v la apasare scroll-lock */
v1=v1*2;
if (z6) /* injumatatire v la apasare num-lock */
v1=v1/2;
if(v1==0) v1=1;
}
}
void tastatura (void) {
union REGS ireg;
ireg.h.ah = 0x00;
int86 (0x16, &ireg, &ireg); /* aici asteapta pt. continuare
apasarea unei taste ordinare, in caz contrar blocind continuarea */
a1 = ireg.h.al;
a2 = ireg.h.ah;
/*      printf("\n a1t=%x a2=%x", a1, a2); */
}
void manualincr (void) {
int kbst=0, z5=0, j1;
int inc2=1, z1=0, z2=0,z3=0,z4=0;
char test;
v=10;
clrscr();
gotoxy(5,9);

```

```

printf("\n MOD DE LUCRU INCREMENTAL DE LA TASTATURA \n");
printf("\n apasati shift dr. -> X-, shift stg. -> X+");
printf("\n      ctrl -> Y+, alt -> Y-");
printf("\nCAPS LOCK pt. terminare mod de lucru INCREMENTAL dela tastaura \n");
inc2=modifica();
while (z5==0) {
    kbst=kbststatus(); z5 = kbst & 0x40;
    delay(4000);
    z1=((kbst & 0x01)); //X-
    z2=((kbst & 0x02)); //X+;
    z3=((kbst & 0x04)); //y+;
    z4=((kbst & 0x08)); //y-;
    if(z1) { se1=0; var='x'; for(j1=0;j1<inc2;j1++) axax(); }
    else {
        if(z2) { se1=1; var='x'; for(j1=0;j1<inc2;j1++) axax(); }
        else {
            if(z3) { se2=1; var='y'; for(j1=0;j1<inc2;j1++) axay(); }
            else {
                if(z4) { se2=0; var='y'; for(j1=0;j1<inc2;j1++) axay(); }
            }
        }
    }
    x21=trad(0); y21=trad(1);
    gotoxy(5,15);
    printf("\n poz citita x21=%6.3f y21=%6.3f", x21, y21);
    gotoxy(5,20);
    printf(" doriti schimare marime increment D ??");
    cin>>test; //scanf("%c", &test);
    if (test == 'd' || test=='D') inc2=modifica();
} // inchid while CAPS-LOCK
}
int modifica (void) {
    int k1=10, inc, inc1, n1=100;
    gotoxy(5,22);
    printf("\n introduceti 1, 2, 3, 4 pentru incremente de ");
    printf("\n 1 mm, 0.1 mm, 0.01 mm, 0.001 mm");
    scanf ("%d", &inc);
    if (inc==1) inc1=n1;
    if (inc==2) inc1=n1/10;
    if (inc==3) inc1=n1/100;
    if (inc==4) inc1=n1/1000;
    inc1 = (k1 * inc1); /* k1 - factor de scara pt. marime increment */
    return inc1;
}
void axay(void){
// bit0=pin2=sens x 1-3=sens y 2-4 tact x bit3-5 tact y
    int j=0;
    if(se2==1){ /* sens y+ pe reper */
        for(j=0; j<v1; j++) {
            output(0x378,0x21); //0x1a=0001 1010 impuls
            delay(v);
            output(0x378,0xa1); //0x12=0001 0010 revenire
            delay(v);
        }
    }
    if(se2==0){
        for(j=0; j<v1; j++) {
            output(0x378,0x01 & ms);delay(v); // 0001 1000
            output(0x378,0x81 & ms);delay(v); // 0001 0000
        }
    }
}

```



```
}  
void axax(void){  
    int j=0;  
    if(sel==1){ /* sens x+ pe reper */  
        for(j=0; j<v1; j++) {  
            output(0x378,0x11);    delay(v);  
            output(0x378,0x51); delay(v);  
        }  
    }  
    if(sel==0){  
        for(j=0; j<v1; j++) {  
            output(0x378,0x01 & ms);delay(v);  
            output(0x378,0x41 & ms); delay(v);  
        }  
    }  
}
```

Anexa D.Secventa de fisier FPO.txt cu evolutia procesului de prelucrare

citiri x21=0.080 y21=0.004 x20=0.084 y20=0.001
 citiri x21=0.164 y21=0.004 x20=0.168 y20=0.001
 citiri x21=0.249 y21=0.004 x20=0.253 y20=0.001
 citiri x21=0.333 y21=0.004 x20=0.338 y20=0.001
 citiri x21=0.418 y21=0.004 x20=0.423 y20=0.001
 citiri x21=0.502 y21=0.004 x20=0.508 y20=0.001

prel cilp=1 delta=0.000 x20=0.502 y20=0.004
 prel cilp=2 delta=0.000 x20=0.502 y20=0.004
 prel cilp=3 delta=-0.000 x20=0.503 y20=0.004
 prel cilp=4 delta=0.000 x20=0.503 y20=0.003
 prel cilp=5 delta=-0.000 x20=0.504 y20=0.003
 prel cilp=6 delta=-0.000 x20=0.504 y20=0.003
 prel cilp=7 delta=0.000 x20=0.504 y20=0.002
 prel cilp=8 delta=-0.000 x20=0.505 y20=0.002
 prel cilp=9 delta=-0.000 x20=0.505 y20=0.002
 prel cilp=10 delta=0.000 x20=0.505 y20=0.002
 prel cilp=11 delta=-0.000 x20=0.506 y20=0.002

citiri x21=0.583 y21=0.002 x20=0.584 y20=0.000
 citiri x21=0.649 y21=0.002 x20=0.646 y20=0.000
 citiri x21=0.732 y21=0.002 x20=0.729 y20=0.000
 citiri x21=0.815 y21=0.002 x20=0.814 y20=0.000
 citiri x21=0.899 y21=0.002 x20=0.899 y20=0.000
 citiri x21=0.982 y21=0.002 x20=0.984 y20=0.000
 citiri x21=1.066 y21=0.002 x20=1.068 y20=-0.000
 citiri x21=1.151 y21=0.002 x20=1.152 y20=-0.000
 citiri x21=1.238 y21=0.002 x20=1.237 y20=-0.000
 citiri x21=1.322 y21=0.002 x20=1.321 y20=-0.000
 citiri x21=1.405 y21=0.002 x20=1.406 y20=-0.000
 citiri x21=1.486 y21=0.002 x20=1.491 y20=-0.000
 citiri x21=1.570 y21=0.002 x20=1.575 y20=-0.000
 citiri x21=1.653 y21=0.002 x20=1.660 y20=-0.000

prel cilp=1 delta=0.000 x20=1.653 y20=0.002
 prel cilp=2 delta=0.000 x20=1.653 y20=0.002
 prel cilp=3 delta=-0.000 x20=1.654 y20=0.002
 prel cilp=4 delta=-0.000 x20=1.654 y20=0.002
 prel cilp=5 delta=-0.000 x20=1.655 y20=0.002
 prel cilp=6 delta=0.000 x20=1.655 y20=0.001
 prel cilp=7 delta=-0.000 x20=1.655 y20=0.001
 prel cilp=8 delta=-0.000 x20=1.656 y20=0.001
 prel cilp=9 delta=-0.000 x20=1.656 y20=0.001
 prel cilp=10 delta=0.000 x20=1.656 y20=0.000
 prel cilp=11 delta=-0.000 x20=1.657 y20=0.000

citiri x21=1.739 y21=0.001 x20=1.740 y20=-0.000
 citiri x21=1.827 y21=0.001 x20=1.825 y20=-0.000

citiri x21=1.915 y21=0.001 x20=1.910 y20=-0.000
 citiri x21=1.999 y21=0.001 x20=1.994 y20=-0.000
 citiri x21=2.004 y21=0.080 x20=2.004 y20=0.084
 citiri x21=2.007 y21=0.161 x20=2.007 y20=0.165

citiri x21=2.011 y21=0.242 x20=2.013 y20=0.245
 citiri x21=2.017 y21=0.319 x20=2.020 y20=0.322
 citiri x21=2.028 y21=0.395 x20=2.028 y20=0.398
 citiri x21=2.040 y21=0.469 x20=2.039 y20=0.472
 citiri x21=2.050 y21=0.541 x20=2.050 y20=0.544
 citiri x21=2.060 y21=0.611 x20=2.063 y20=0.615
 citiri x21=2.079 y21=0.681 x20=2.078 y20=0.684
 citiri x21=2.093 y21=0.749 x20=2.094 y20=0.752
 citiri x21=2.114 y21=0.814 x20=2.111 y20=0.819
 citiri x21=2.129 y21=0.880 x20=2.130 y20=0.884
 citiri x21=2.150 y21=0.945 x20=2.149 y20=0.948

popscurt ilp=2310 index1=0 noul virf=15d f2=b8
 sc=200
 popscurt ilp=2309 index1=0 noul virf=15c f2=b9
 sc=184
 popscurt ilp=2308 index1=0 noul virf=15b f2=a9
 sc=185
 popscurt ilp=2307 index1=0 noul virf=15a f2=99
 sc=169
 popscurt ilp=2306 index1=0 noul virf=159 f2=89
 sc=153
 popscurt ilp=2305 index1=0 noul virf=158 f2=8a
 sc=137
 popscurt ilp=2304 index1=0 noul virf=157 f2=7a
 sc=138
 popscurt ilp=2303 index1=0 noul virf=156 f2=6a
 sc=122
 popscurt ilp=2302 index1=0 noul virf=155 f2=5a
 sc=106
 popscurt ilp=2301 index1=0 noul virf=154 f2=5b
 sc=90

citiri x21=2.168 y21=1.003 x20=2.168 y20=1.007
 citiri x21=2.192 y21=1.066 x20=2.190 y20=1.069
 citiri x21=2.213 y21=1.129 x20=2.213 y20=1.131
 citiri x21=2.238 y21=1.187 x20=2.237 y20=1.190
 citiri x21=2.259 y21=1.246 x20=2.262 y20=1.250
 citiri x21=2.288 y21=1.305 x20=2.287 y20=1.308
 citiri x21=2.316 y21=1.362 x20=2.315 y20=1.365
 citiri x21=2.340 y21=1.418 x20=2.342 y20=1.421
 citiri x21=2.371 y21=1.472 x20=2.371 y20=1.476

citiri x21=2.402 y21=1.528 x20=2.400 y20=1.530
 citiri x21=2.434 y21=1.580 x20=2.430 y20=1.584
 citiri x21=2.461 y21=1.631 x20=2.462 y20=1.636
 citiri x21=2.495 y21=1.683 x20=2.494 y20=1.687
 citiri x21=2.528 y21=1.732 x20=2.526 y20=1.738
 citiri x21=2.563 y21=1.783 x20=2.560 y20=1.788
 citiri x21=2.598 y21=1.830 x20=2.594 y20=1.836
 citiri x21=2.633 y21=1.878 x20=2.629 y20=1.884
 citiri x21=2.667 y21=1.927 x20=2.666 y20=1.932
 citiri x21=2.703 y21=1.974 x20=2.703 y20=1.979
 citiri x21=2.739 y21=2.020 x20=2.741 y20=2.025
 citiri x21=2.779 y21=2.066 x20=2.780 y20=2.070
 citiri x21=2.818 y21=2.111 x20=2.820 y20=2.115
 citiri x21=2.858 y21=2.155 x20=2.860 y20=2.159
 citiri x21=2.899 y21=2.198 x20=2.901 y20=2.201
 citiri x21=2.940 y21=2.240 x20=2.943 y20=2.243
 citiri x21=2.982 y21=2.279 x20=2.984 y20=2.283
 citiri x21=3.028 y21=2.320 x20=3.028 y20=2.323
 citiri x21=3.073 y21=2.360 x20=3.072 y20=2.363
 citiri x21=3.117 y21=2.398 x20=3.117 y20=2.402
 citiri x21=3.162 y21=2.436 x20=3.162 y20=2.440
 citiri x21=3.207 y21=2.474 x20=3.209 y20=2.477
 citiri x21=3.254 y21=2.512 x20=3.257 y20=2.514

citiri x21=3.300 y21=2.546 x20=3.305 y20=2.549
 citiri x21=3.354 y21=2.582 x20=3.354 y20=2.585

popscurt ilp=7955 index1=0 noul virf=3e1 f2=aa
 sc=186
 popscurt ilp=7954 index1=0 noul virf=3e0 f2=ab
 sc=170
 popscurt ilp=7953 index1=0 noul virf=3df f2=ac
 sc=171
 popscurt ilp=7952 index1=0 noul virf=3de f2=9c
 sc=172
 popscurt ilp=7951 index1=0 noul virf=3dd f2=9d
 sc=156
 popscurt ilp=7950 index1=0 noul virf=3dc f2=8d
 sc=157
 popscurt ilp=7949 index1=0 noul virf=3db f2=8e
 sc=141
 popscurt ilp=7948 index1=0 noul virf=3da f2=8f
 sc=142

citiri x21=3.400 y21=2.614 x20=3.401 y20=2.616

popscurt ilp=8063 index1=0 noul virf=64 f2=6a
 sc=105
 popscurt ilp=8062 index1=0 noul virf=63 f2=5a
 sc=106
 popscurt ilp=8061 index1=0 noul virf=62 f2=5b sc=90
 popscurt ilp=8060 index1=0 noul virf=61 f2=5c sc=91
 popscurt ilp=8059 index1=0 noul virf=60 f2=4c sc=92
 popscurt ilp=8058 index1=0 noul virf=5f f2=4d sc=76
 popscurt ilp=8057 index1=0 noul virf=5e f2=3d sc=77
 popscurt ilp=8056 index1=0 noul virf=5d f2=3e sc=61

citiri x21=3.447 y21=2.645 x20=3.449 y20=2.648
 citiri x21=3.496 y21=2.678 x20=3.501 y20=2.680
 citiri x21=3.550 y21=2.707 x20=3.552 y20=2.711
 citiri x21=3.604 y21=2.737 x20=3.606 y20=2.742
 citiri x21=3.656 y21=2.768 x20=3.660 y20=2.772
 citiri x21=3.716 y21=2.797 x20=3.715 y20=2.801
 citiri x21=3.825 y21=2.852 x20=3.828 y20=2.856

citiri x21=3.885 y21=2.878 x20=3.886 y20=2.882
 citiri x21=3.941 y21=2.904 x20=3.944 y20=2.907
 citiri x21=4.004 y21=2.928 x20=4.005 y20=2.931
 citiri x21=4.064 y21=2.952 x20=4.066 y20=2.954
 citiri x21=4.126 y21=2.974 x20=4.127 y20=2.976
 citiri x21=4.190 y21=2.993 x20=4.189 y20=2.997
 citiri x21=4.253 y21=3.014 x20=4.253 y20=3.017
 citiri x21=4.319 y21=3.032 x20=4.317 y20=3.035
 citiri x21=4.382 y21=3.049 x20=4.383 y20=3.052
 citiri x21=4.451 y21=3.066 x20=4.450 y20=3.068
 citiri x21=4.521 y21=3.081 x20=4.519 y20=3.083
 citiri x21=4.589 y21=3.093 x20=4.586 y20=3.096
 citiri x21=4.657 y21=3.105 x20=4.657 y20=3.108
 citiri x21=4.726 y21=3.117 x20=4.725 y20=3.118
 citiri x21=4.796 y21=3.125 x20=4.793 y20=3.127
 citiri x21=4.858 y21=3.129 x20=4.861 y20=3.134
 citiri x21=4.929 y21=3.136 x20=4.929 y20=3.139
 citiri x21=4.999 y21=3.140 x20=4.998 y20=3.143
 citiri x21=5.065 y21=3.144 x20=5.068 y20=3.146
 citiri x21=5.136 y21=3.144 x20=5.140 y20=3.147

citiri x21=5.213 y21=3.144 x20=5.217 y20=3.146
 citiri x21=5.411 y21=3.141 x20=5.415 y20=3.136
 citiri x21=5.475 y21=3.139 x20=5.477 y20=3.130

prel cilp=1 delta=0.000 x20=5.475 y20=3.139
 prel cilp=2 delta=0.000 x20=5.475 y20=3.138
 prel cilp=3 delta=0.000 x20=5.475 y20=3.137
 prel cilp=4 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.137
 prel cilp=5 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.137
 prel cilp=6 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.136
 prel cilp=7 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.136
 prel cilp=8 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.135
 prel cilp=9 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.135
 prel cilp=10 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.134
 prel cilp=11 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.133
 prel cilp=12 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.132
 prel cilp=13 delta=0.000 x20=5.477 y20=3.132
 prel cilp=14 delta=0.000 x20=5.477 y20=3.131
 prel cilp=15 delta=0.000 x20=5.476 y20=3.130