

MINISTERUL EDUCAȚIEI NAȚIONALE

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA" TIMIȘOARA

FACULTATEA DE AUTOMATICĂ ȘI CALCULATOARE

Inginer Ioan - Emeric Köles

*Contribuții la automatizarea sistemelor din compunerea
mașinilor-unelte în condițiile comenzii adaptive*

TEZĂ DE DOCTORAT

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

62-701
200 4

Conducător științific

Prof. Dr. Ing. NICOLAE BUDIȘAN

1998

Cap.1 Introducere

Afirmația corespunzător căreia gradul de dezvoltare al industriei producătoare de mașini-unelte determină performanțele întreprinderilor producătoare de orice alte categorii de bunuri materiale este și va rămâne pentru încă multă vreme un adevăr de necontestat. Astăzi avem voie să spunem că dorim să trăim cât mai bine, lucru posibil numai în condițiile unei producții ai cărei cei mai importanți parametri trebuie să fie prețul de cost cât mai mic și calitatea cea mai bună. Acest deziderat va putea fi realizat numai dacă *mașinile ce produc mașini* vor fi dintre cele mai performante. Perfecționarea mașinilor-unelte este posibilă pe mai multe căi dintre care două complementare, de mare importanță și anume:

a. Utilizarea în construcția lor a materialelor cu proprietăți superioare care vor permite încărcări mărite (și deci capacități de producție sporite) și viteze de așchiere sporite, în condițiile îmbunătățirii (sau în cel mai defavorabil caz al păstrării) preciziei dimensionale și calității suprafeței prelucrate.

b. Introducerea în structura mașinii-unelte a unor componente "electronizate" care să poată accepta comanda de la sisteme integrate computerizate (sau specializate) de conducere a proceselor de prelucrare.

Pe această a doua cale s-a preconizat (și obținut) și încadrarea prezentei teze prin câteva contribuții aduse în zona de interfață a domeniilor **electronic** și **mecanic** pe de-o parte și în cea dintre **conducerea centralizată, computerizată** și **execuția (prelucrarea) mecanică, efectivă**, pe de-altă parte. Cercetările materializate prin prezenta teză s-au orientat în direcția dotării mașinilor-unelte cu sisteme auxiliare (de comandă adaptivă, controlul solicitărilor în procesul de prelucrare, automatizarea și "electronizarea" componentelor specifice mașinilor-unelte) în scopul creșterii preciziei de prelucrare și a calității pieselor prelucrate, a scăderii prețului de cost, datorită posibilităților de optimizare a operației de așchiere.

După cum se cunoaște comanda adaptivă a unei mașini-unelte este un sistem specific de conducere automată a prelucrării în sensul satisfacerii criteriului de optimizare (adaptare) ales. Acesta poate fi reprezentat prin:

- capacitate de producție maximă
- cost minim al prelucrării
- îndeplinirea anumitor indici calitativi sau dimensionali, etc.

Pentru aceasta sistemul primește informații tehnologice care pot fi grupate în două categorii și anume:

- informații (mărimi) de referință sau prescrise furnizate de blocuri electronice specializate conform algoritmului propriu al comenzii adaptive

- informații (mărimi) curente monitorizate în timpul prelucrării, referitoare la evoluția parametrilor determinanți ai prelucrării. În această categorie se încadrează și mărimea (mărimile) controlată.

În urma prelucrării acestor informații conform algoritmului adoptat și strategiei implementate mașina-unealtă se autoadaptează permanent -online și în timp real- variațiilor continue ale parametrilor, comanda adaptivă constituind cea mai performantă modalitate de automatizare a mașinii-unelte și a procesului de prelucrare prin așchiere.

Posibilitățile și procedeele de implementare a comenzii adaptive pe mașini-unelte sunt de o mare diversitate, fiind determinate de factori care depind de:

- tipul mașinii-unelte
- prelucrarea ce se efectuează
- gradul de automatizare al conducerii ciclului de lucru al mașinii-unelte
- gradul de echipare al mașinii-unelte cu elemente de execuție ce pot fi comandate cu semnale electrice ș. a.

O enumerare sau clasificare nu au sens întrucât fiecare caz trebuie să fie tratat distinct luând în considerare caracteristicile ansamblului unitar *mașină-unealtă - proces de prelucrare*. Echiparea unei mașini-unelte cu un sistem de comandă adaptivă ridică o serie de probleme legate de alegerea criteriului optim de adaptare, adoptarea strategiei de comandă, implementarea ei și altele. Aceste secvențe impun o abordare și tratare multidisciplinară a problematicii și o foarte bună colaborare între specialiștii din domeniile mecanicii, electronicii, automaticii și nu numai.

Din punctul de vedere al electronistului câteva probleme a căror soluționare este indispensabilă obținerii unei comenzi adaptive performante sunt:

- proiectarea, realizarea și aplicarea unor circuite electronice specifice destinate măsurării automate a mărimilor și parametrilor caracteristici ai procesului de așchiere în condițiile comenzii adaptive (puteri mecanice și electrice, momente de torsiune, forțe de așchiere etc.
- proiectarea, realizarea și utilizarea unor circuite electronice de selectare a mărimilor de comandă corespunzătoare unui anumit regim de lucru (servocomandă sau comandă adaptivă), în condițiile unei maxime precizii și imunități la perturbații, date fiind condițiile term-ambientale severe ale halelor industriale în care funcționează mașinile-unelte
- proiectarea, realizarea și utilizarea unor circuite de supraveghere și protecție a servocomponentelor și mașinilor-unelte, specifice acestor tipuri de aplicații
- proiectarea realizarea și utilizarea unor circuite de comandă care să pună în valoare proprietățile unor ele-

mente de execuție electromecanice sau electro-mecano-hidraulice și desigur ale mașinilor-unelte în a căror compunere se găsesc.

În ce privește stadiul actual în domeniul de interfață circuite electronice de comandă - mașină-unealtă unde este localizată și tematica tezei se cunosc soluțiile de principiu dar sunt puține și incipiente utilizările pentru rezolvarea problemelor specifice ridicate de comanda adaptivă. Mai mult decât atât domeniul a fost evitat de specialiști datorită dificultăților pe care le ridică stabilirea corelațiilor dintre parametrii electro-funcționali ai circuitelor de măsurare, comandă sau protecție și mărimile care caracterizează evoluția dinamică a proceselor de prelucrare prin așchiere.

Teza și-a propus crearea câtorva punți informaționale și execuționale între mașina-unealtă propriu-zisă și procesul de prelucrare în vederea realizării scopului final al oricărei fabricații - *piesa de cea mai bună calitate, realizată în timp cât mai scurt, la un preț cât mai mic.*

Cercetările autorului sau grefat pe realizări de prestigiu ale școlii timișorene de mașini-unelte. Numai în cadrul disciplinelor de Mașini-unelte ale **Catedrei de Tehnologia Construcțiilor de Mașini** din "Politehnica" TIMIȘOREANĂ s-au elaborat zeci de teze de doctorat, lucrări și studii cu teme concrete privind comanda adaptivă pentru diferite tipuri de prelucrări și mașini-unelte. Această vastă și valoroasă bază de **software adaptiv TREBUIE** fructificată și pentru aceasta este nevoie de componente potrivite acestui scop, care vor constitui **hardware-ul** absolut indispensabil obținerii scopului final enunțat. Autorul prezentei consideră că a făcut un pas în această direcție și este convins că vor urma și alte realizări și pentru faptul că piața care se conturează și la noi tinde să respingă și să elimine produsele de calitate îndoielnică (care nu în puține cazuri sunt și scumpe) atrăgându-le pe cele de bună calitate.

Motivele care au determinat conținutul prezentei teze s-ar putea sintetiza astfel:

Colectivul de cercetare-proiectare în care autorul prezentei lucrări și-a desfășurat activitatea încă din perioada premergătoare înscrierii la doctorat și până după finalizarea experimentărilor avea ca principală direcție de activitate realizarea și implementarea în structura mașinilor-unelte a sistemelor de comandă adaptivă și a celor de protecție a sculelor.

Am considerat că va fi benefică acceptarea "provocărilor" pe care domeniul mi le lansa pe măsura desfășurării activității de cercetare contractuală.

Fiecare capitol al tezei se deschide printr-o succintă prezentare a stadiului actual al problematicii atacate spre soluționare, ocazie cu care sunt relevate contribuțiile autohtone și locale care se plasează prin performanțe la

nivelul realizărilor constructorilor prestigioși de mașini-unelte, componente și subansamble, de peste hotare. Din nefericire interese, mentalități și acțiuni coerente pe care nu le comentez și nu le calific acum și aici au avut ca rezultat blocarea punerii lor în aplicare și utilizare industrială.

Prezenta lucrare -pentru a cărei realizare am beneficiat de ajutorul prețios și generos al multor dascăli, colegi și colaboratori, cărora le aduc pe această cale mulțumirile cele mai sincere- se dorește să se constituie într-un segment al realizărilor Școlii timișorene de mașini-unelte întemeiate de

Regretatul Profesor Doctor Inginer Eugen Dodon

și compusă actualmente dintr-o pleiadă de valoroși discipoli pe care i-a crescut și format.

Cap.2 Măsurarea puterilor în acționările mașinilor-unelte cu comandă adaptivă

2.1. Introducere

Prin sistemele de comandă adaptivă se controlează și se conduc procedee diverse de prelucrare pe mașini unelte. Funcție de procedeele de prelucrare ce urmează a fi controlate, tipul și caracteristicile mașinii-unelte pe care urmează să fie implementat sistemul de comandă adaptivă, se stabilește și parametrul ce urmează să fie controlat pentru asigurarea evoluției cât mai favorabile a procesului de așchiere din punctul de vedere al criteriului de optimizare adoptat.

Așa cum s-a arătat în introducerea prezentei lucrări și se cunoaște din literatura de specialitate, [2.1], [2.2], [2.3], [2.4], [2.5], [2.13], [6], [18], [27], [30], sunt frecvente cazurile când parametrul controlat al comenzii adaptive este puterea (consumată) în așchiere. Utilizarea ei este recomandată atunci când se urmărește folosirea puterii maxime disponibile a mașinii-unelte, ținându-se seama evident de limitările impuse de scula așchietoare și/sau de calitatea suprafeței prelucrate și de precizia dimensională impuse. Bineînțeles că folosirea acestui parametru este recomandată atunci când nu se impun condiții severe referitoare la calitatea suprafeței sau la precizia dimensională a piesei, adică la:

- degroșări
- danturări
- debitări,

sau dacă operația este urmată de finisare.

Din punctul de vedere al sistemelor de comandă adaptivă în care criteriul de adaptare este capacitatea maximă de producție sau un altul similar este obligatorie cunoașterea puterii mecanice consumate în așchiere (numită în cele ce urmează **putere în așchiere**) - P_a . Măsurarea ei directă în locul efectuării prelucrării este în majoritatea cazurilor o operație dificilă și laborioasă uneori chiar imposibilă. Din acest motiv s-au căutat și găsit soluții de măsurare a puterii în așchiere prin intervenții și determinări efectuate în puncte intermediare ale lanțurilor cinematice sau ale sistemului tehnologic elastic.

2.2 Stadiul actual al măsurării puterilor în acționările mașinilor-unelte cu comandă adaptivă

În prezent se utilizează curent două modalități de măsurare a puterii în așchiere. Prima constă în măsurarea componentelor forței de așchiere și determinarea prin calcul a puterii în așchiere. Din punctul de vedere al acesteia schema bloc a unei mașini-unelte are forma din figura 2.1.

Senzorul **S** compus din traductoare specifice dispuse într-o montură adecvată, interconectat cu blocul electronic pentru calculul puterii în aşchiere -**BCP_a**, furnizează acestuia un semnal electric proporţional cu forţa de aşchiere.

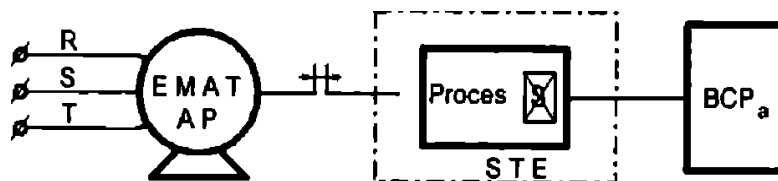


fig.2.1

Blocul electronic va calcula puterea în aşchiere conform exemplificării schematice considerate pentru cazul danturării cu freză-melc cilindrică, prezentate în figura 2.2.

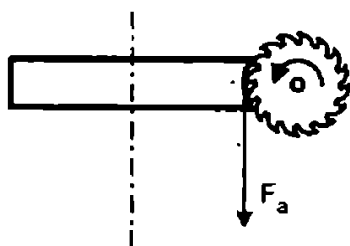


fig.2.2

Componenta principală a forţei de aşchiere -**F_a**- determină apariţia în dornul port-sculă a unui moment de torsiune -**M_t**- dat de relaţie:

$$M_t = c \cdot F_a \cdot r = c \cdot F_a \cdot \frac{d}{2} \quad 2.1$$

unde:

d - diametrul sculei aşchietoare

c - coeficient supraunitar

Dar:

$$P_a = M_t \cdot \omega = M_t \cdot \frac{\pi \cdot n}{30} \quad 2.2$$

unde:

ω - viteza unghiulară a sculei aşchietoare

n - turaţia sculei aşchietoare

Aşadar, prin măsurarea momentului de torsiune prin metode specifice asupra cărora nu se insistă, se poate obţine prin calcul puterea în aşchiere. Se cunosc realizări experimentale, de laborator, bazate pe această metodă dar literatura accesibilă nu menţionează aplicaţii industriale ce ar folosi această metodă pentru cazurile în care parametrul (mărimea) controlat al comenzii adaptive este puterea în aşchiere.

Cealaltă metodă utilizează măsurarea puterii electrice active absorbite de electromotorul acţionării principale, însoţită de utilizarea acesteia pentru controlul procesului de prelucrare sau determinarea prin calcul a puterii în aşchiere conform relaţiei:

$$P_a = \eta_T \cdot \eta_M \cdot P_{e,a} - P_g \quad 2.3$$

unde:

η_T - randamentul transmisiei pe traseul cuprins între arborele electromotorului acționării principale și punctul în care are loc prelucrarea

η_M - randamentul electromotorului acționării principale

$P_{e,a}$ - puterea electrică activă absorbită din rețea de electromotor

P_g - puterea mecanică consumată în gol (în lipsa prelucrării) pentru antrenarea lanțului cinematic al acționării principale.

Din punctul de vedere al acestei metode schema bloc a unei mașini-unelte are forma din figura 2.3.

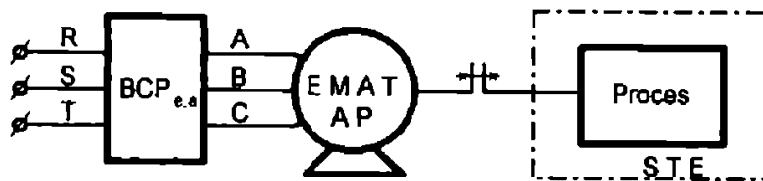


fig.2.3

Examinarea relației 2.3 relevă dificultățile măsurării puterii în așchiere prin această metodă, constând în:

- cunoașterea variației randamentului electromotorului cu încărcarea
- cunoașterea variației randamentului transmisiei
- cunoașterea puterii consumate în gol

În ceea ce privește randamentul electromotorului el este furnizat de către producător și variația sa poate fi (și este) inclusă în formula de calcul a puterii de referință a comenzii adaptive. Totodată randamentul transmisiei poate fi măsurat și inclus în aceeași formulă. Termenul dificil de anticipat și de tratat al relației 2.3 este puterea consumată în gol (pentru învingerea frecărilor din lanțul cinematic al acționării principale).

Acesteia îi corespunde o putere electrică activă $-P_{e,g}$ a cărei expresie rezultă din relația 2.3 în lipsa prelucrării ($P_a = 0$), fiind:

$$P_{e,g} = \frac{P_g}{\eta_T \cdot \eta_M} \quad 2.4$$

În realizările industriale cunoscute și aplicate, una a firmei Phauter, alte două (prototipul și seria zero ale comenzii adaptive a avansului la danturare) ale colectivului de

mașini-unelte din Universitatea "Politehnica" Timișoara condus până în anul 1996 de

Regretatul Profesor Doctor Inginer Eugen Dodon

(sub a cărui conducere științifică s-au desfășurat cercetările pentru elaborarea prezentei teze) puterea în gol (de fapt $P_{e,g}$) era compensată periodic, manual de către operator. Dar P_g (și evident componenta electrică asociată ei $-P_{e,g}$) este dependentă de foarte mulți factori dificil de cuantificat, care din punctul de vedere al măsurării sunt perturbatori și pot fi grupați în două categorii:

- variabili de la un ciclu de prelucrare la altul, dar aproximativi constanți pe durata unuia, în această categorie intrând spre exemplu turația sculei
- continuu variabili, în această categorie încadrându-se temperatura halei, a uleiului, a mașinii-unelte, tensiunea rețelei ș.a. Tensiunea rețelei și ceilalți factori enumerați variază relativ lent și puțin în intervalul unui ciclu de prelucrare. Prin urmare și puterea consumată în gol va fi continuu variabilă și măsurarea puterii cu o precizie suficientă nu poate fi obținută prin compensare manuală, periodică a puterii consumate în gol (P_g), fiind absolut necesară compensarea ei automată, la intervale de timp cât mai scurte.

Prezența acestor factori precum și necesitatea intervenției periodice a operatorului afectează atât precizia măsurării cât și capacitatea de producție a mașinii-unelte. Prin urmare introducerea unei compensări periodice efectuate automat, cu precizie, ar elimina neajunsurile enumerate.

Studiul comparativ al celor două modalități de măsurare a puterii (respectiv puterii electrice) în așchiere și experiența colectivului disciplinelor de mașini-unelte arată că alegerea uneia dintre ele trebuie să fie precedată de o analiză amănunțită a cazului tehnologic concret.

Experimental, cu ocazia elaborării și introducerii în exploatare industrială a unor contracte /3.10/, s-a constatat că în cursul unui ciclu de prelucrare puterea consumată în gol variază puțin (în condițiile în care turația sculei este constantă). Prin urmare compensarea efectuată înaintea începerii fiecărui ciclu de prelucrare poate fi considerată valabilă și suficient de corectă și exactă pe întregul său parcurs. De altfel compensarea puterii consumate în gol în timpul unui ciclu de prelucrare nici nu este posibilă, prin urmare modalitatea aleasă este evident cea mai favorabilă cu putință.

2.3 Modul pentru măsurarea și calculul puterii electrice consumate în așchiere

2.3.1 Elaborarea structurii modulului pentru măsurarea și calculul puterii electrice consumate în așchiere

Din cele expuse în paragraful precedent rezultă că în vederea determinării puterii electrice active consumate în așchiere, numită în continuare **putere electrică în așchiere** și notată $P_{e,a}$ este necesară utilizarea unei scheme bloc ca cea din figura 2.4.

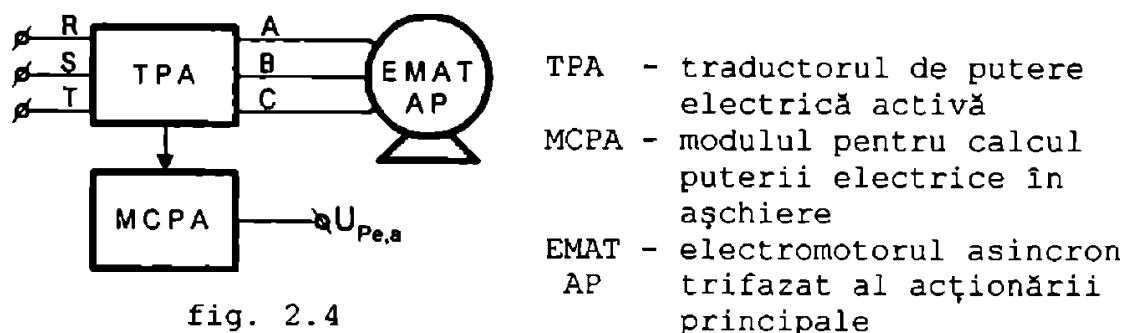


fig. 2.4

Schema bloc nu face necesare explicații. Pentru a putea fi puse în evidență cerințele ce urmează să le îndeplinească modulul este utilă prezentarea câtorva tipuri de traductoare de putere electrică activă utilizabile pentru comenzi adaptive și alte tipuri de aplicații în care este necesară determinarea puterii electrice în așchiere. Literatura de specialitate [3.1], [3.2], [2.2] prezintă o mare varietate de traductoare de putere. Dintre acestea prezintă interes aparte seria de traductoare de putere activă (monofazată și trifazată) fabricată de **SC -AEM- SA** Timișoara [2.5]. Acestea furnizează la ieșire semnal unificat de tensiune sau curent, proporțional cu puterea activă absorbită (consumată) de electromotor sau alt consumator cărui i se atașează, fiind deosebit de utile pentru acest tip de aplicații. Facilitatea interconectării traductorului cu electromotorul asincron trifazat al acționării principale și cu modulul -executată conform figurii 2.4- constituie un argument suplimentar pentru utilizarea sa.

Un alt tip interesant de traductor de putere este cel utilizat în /3.10/ având schema de principiu prezentată în figura 2.5 și conectat în circuitul de alimentare al electromotorului asincron trifazat așa cum se prezintă în figura 2.6. Semnalul de ieșire al acestui traductor este constituit dintr-un sistem trifazat de tensiuni. O proprietate remarcabilă a acestui tip de traductor -în ciuda simplității sale- este aceea că prin alegerea convenabilă (prin experimentări) a elementelor R și C semnalul de ieșire este proporțional cu

puterea electrică activă absorbită de electromotorul în al cărui amonte se conectează, motiv pentru care se pretează foarte bine la utilizări în domeniul comenzii adaptive. Conform /3.10/ reglajul este așadar valabil pentru un anumit tip de electromotor. Colectivul de cercetare-proiectare din Universitatea "Politehnica" Timișoara a utilizat acest tip de traductor la realizarea comenzii adaptive a avansului (serie zero) **FD-400-13CA1** și la modelul experimental al comenzii adaptive a avansului și vitezei la danturarea cu freză-melc cilindrică pe mașina **FD-400-CA2**. La acest ultim sistem,

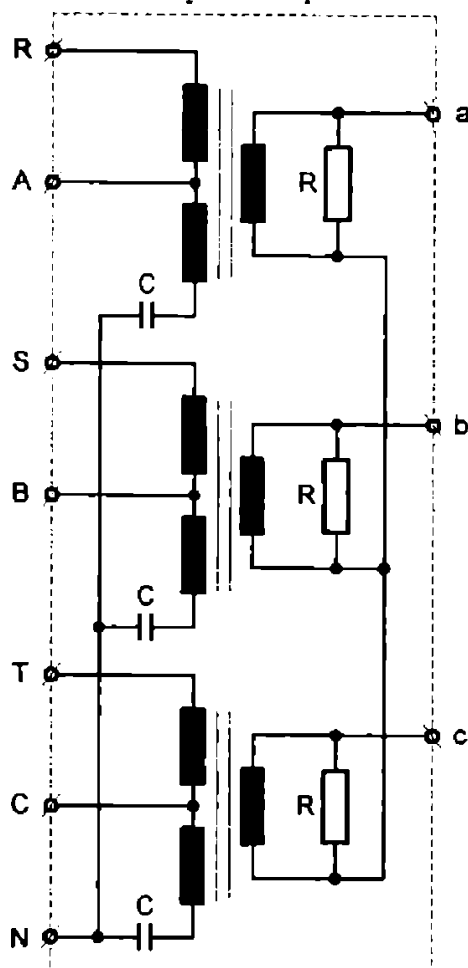


fig. 2.5

modul pentru calculul puterii electrice în așchiere, descris în cele ce urmează.

a. Cerințe impuse modulului

Așa cum rezultă din figurile 2.4 și 2.6 modulul pentru măsurarea și calculul puterii electrice în așchiere preia semnalul furnizat de traductorul de putere electrică activă și debitează la ieșire o tensiune continuă proporțională cu puterea electrică în așchiere, conform unei relații de forma:

pentru măsurarea puterii electrice în așchiere s-a utilizat schemă bloc din figura 2.6.

Așfel de traducătoare fabrică majoritatea firmelor de prestigiu producătoare de aparatură industrială de măsură.

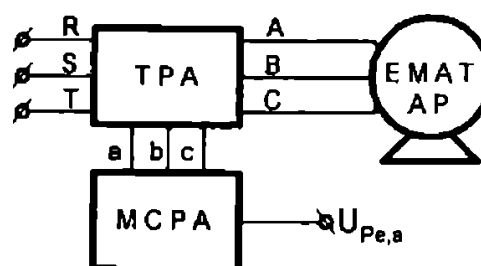


fig. 2.6

Așa cum s-a mai precizat, se cunosc și se utilizează diverse tipuri de traductoare de putere, în schimb literatura de specialitate nu face referiri la un modul electronic pentru determinarea în regim automat a puterii electrice în așchiere. În această direcție s-a concentrat cercetarea efectuată și prezentată în acest capitol al tezei, concretizată în realizarea unui

$$U_{Pe,a} = \frac{P_{e,a}}{P_{e,max}} \cdot 10 \quad [V] \quad 2.5$$

Deci $U_{Pe,a}$ ar putea avea valoarea teoretică maximă de 10 V (în condițiile unui consum nul de putere în gol), adecvată prelucrărilor electronice ulterioare. Modulului i se impun în special cerințe legate de specificul operației la care se efectuează măsurarea puterii electrice în așchiere, mașina-unealtă pe care se efectuează prelucrarea, caracteristicile electromotorului acționării principale, cerințe care ar putea fi sintetizate astfel:

- să furnizeze un semnal de tensiune continuă proporțional cu puterea electrică activă absorbită (consumată) pentru așchiere de electromotorul acționării principale
- să suprimă efectele pe care regimul tranzitoriu al pornirii electromotorului asincron trifazat al acționării principale l-ar determina asupra funcționării modulului și asupra corectitudinii cu care se implementează relațiile de calcul ale puterii electrice în așchiere
- să asigure măsurarea puterii electrice în așchiere, în regim de comandă adaptivă prin compensarea automată a puterii electrice consumate în gol, conform celor prezentate în /2.1/
- să semnalizeze optic și electric atingerea unor valori limită pentru $P_{e,a}$ și P_e
- să asigure funcțiuni auxiliare specifice pentru sistemele de comanda adaptivă și de protecție a sculelor (ex. sesizarea depășirii unor valori limită sau prescrise pentru mărimea măsurată)
- să asigure facilități de autotestare.

Aceste cerințe au impus organizarea modulului conform unei scheme bloc ca cea prezentată în figura 2.7, modul de func-

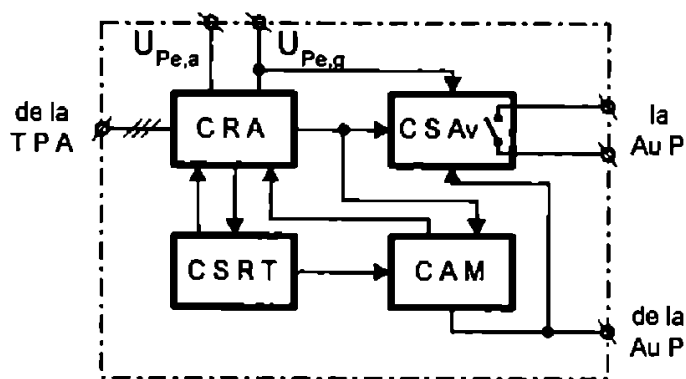


fig. 2.7

- CRA -circuit redresor amplificator
- CSRT-circuit pentru suprimarea regimului tranzitoriu
- CSAv-circuit de semnalizare și avarie
- CAM- compensator automat

ționare fiind următorul:

Circuitul redresor amplificator prelucrează semnalul primit de la traductorul de putere activă și furnizează două tensiuni continue, una proporțională cu puterea electrică activă totală - P_e , absorbită de electromotorul asincron trifazat al acționării principale și alta proporțională cu puterea electrică în așchiere - $P_{e,a}$. Pentru aceasta recepționează de la compensatorul automat tensiunea continuă $U_{Pe,g}$, măsură a puterii electrice consumate în gol determinată în intervalele de timp în care nu se efectuează prelucrare și o scade din P_e , implementând în tensiune relația:

$$P_{e,a} = P_e - P_{e,g} \quad 2.6$$

Compensatorul automat asigură compensarea puterii electrice consumate în gol. Pentru aceasta în intervale când nu se efectuează prelucrare (deci $P_{e,a} = 0$) el sesizează semnul tensiunii U'_{107} , măsură a puterii electrice în așchiere și aplică la intrarea circuitului redresor amplificator o tensiune continuă negativă cu o astfel de valoare care să asigure satisfacerea relației:

$$U'_{107} = U_{107} = U_{Pe,a} = 0 \quad 2.7$$

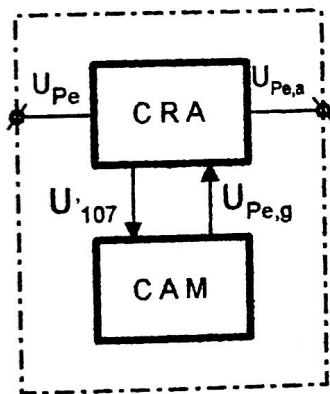


fig. 2.8

Compensarea automată se realizează conform schemei principale din figura 2.8.

În intervalul de timp în care nu se efectuează prelucrare compensatorul automat interconectat cu circuitul redresor amplificator acționează ca un sistem cu reacție negativă puternică care prin iterații succesive tinde să satisfacă relația 2.7.

Cind se efectuează prelucrare compensatorul automat memorează ultima valoare a tensiunii $U_{Pe,g}$ care înaintea începerii acesteia a asigurat îndeplinirea aceleiași condiții 2.7. La terminarea ciclului de prelucrare compensatorul automat reverifică îndeplinirea condiției 2.7, corectează eventualele abateri apărute și asigură satisfacerea ei până la începerea unui nou ciclu de prelucrare.

Circuitul pentru suprimarea regimului tranzitoriu împiedică apariția unei tensiuni mari la ieșirea circuitului redresor amplificator în intervalul pornirii electromotorului acționării principale. Totodată el validează declanșarea unei temporizări de stabilizare în cadrul comenzii adaptive, asupra căreia se va reveni la paragraful în care se prezintă funcționarea sa detaliată.

Circuitul de semnalizare și avarie semnalizează:

- starea compensată sau necompensată a puterii electrice consumate în gol
- starea compensatorului automat - încărcată, ștersă
- depășirea valorii maxime admise a puterii electrice
- depășirea unei valori prescrise (din interiorul modului sau din exteriorul său) a puterii electrice în așchiere.

2.3.2. Realizarea practică a modului pentru măsurarea și calculul puterii electrice în așchiere

a. Circuitul redresor amplificator

Așa cum se observă în schema bloc din figura 2.7 și cum rezultă din paragraful precedent acest circuit preia semnalul de la traductorul de putere activă și furnizează două tensiuni proporționale respectiv cu puterea electrică activă absorbită de la rețeaua trifazată și cu puterea electrică în așchiere. De asemenea acest circuit trebuie să semnalizeze printr-un semnal transmis spre circuitul pentru suprimarea regimului tranzitoriu conectarea electromotorului asincron trifazat al acționării principale. Conform acestor cerințe

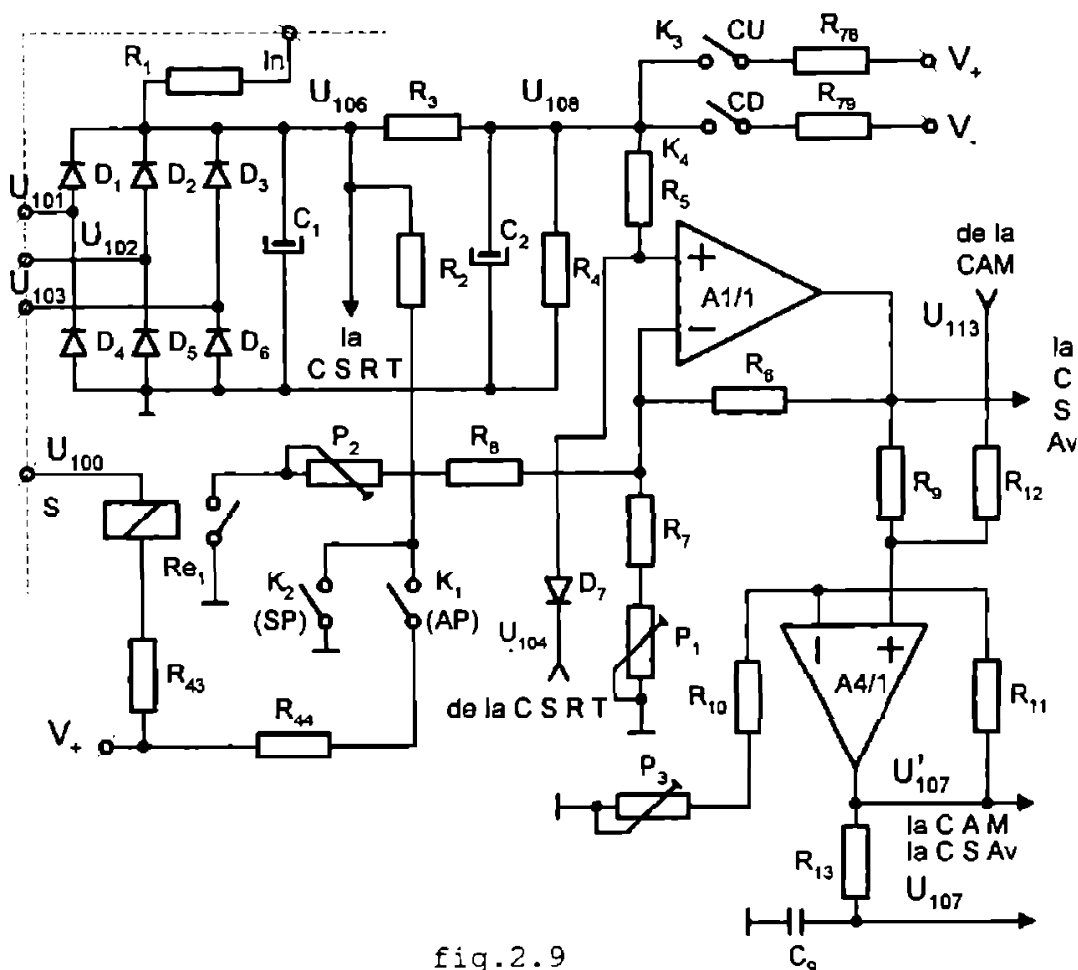


fig.2.9

și celor derivând din tipul de traductor utilizat și specificul acționării principale s-a adoptat pentru circuitul redresor amplificator schema din figura 2.9.

Circuitului i se aplică semnalele:

U_{101} , U_{102} și U_{103} - de la traductorul de putere activă

U_{104} - de la circuitul pentru suprimarea regimului tranzitoriu

U_{100} - de la automatul programabil sau alt echipament ce conduce ciclul mașinii-unelte, pentru comutarea gamelor de măsurare

U_{113} - de la compensatorul automat

și furnizează semnalele:

U_{105} - măsură a puterii electrice active totale consumate de electromotorul acționării principale

U_{106} - spre circuitul pentru suprimarea regimului tranzitoriu semnalizând prin nivelul său (ridicat) faptul că electromotorul acționării principale este conectat la rețea

U_{107} - măsură a puterii electrice în așchiere.

al. Filtrul pasiv

O problemă specifică prelucrărilor pe mașini-unelte care a trebuit soluționată la elaborarea acestui circuit a constat în calculul și experimentarea filtrului trece-jos pasiv realizat cu C_1 , R_3 , C_2 și R_4 astfel încât să se realizeze două condiții antagoniste și anume:

1. pulsațiile tensiunii U_{105} (proporțională cu puterea electrică totală) să se încadreze în intervalul de insensibilitate al comenzii adaptive

2. viteza de variație a tensiunii U_{105} să satisfacă cerințele impuse de specificul măsurării puterilor în sistemele de comandă adaptivă și/sau de protecție a sculelor.

Calculul acestui filtru este determinat de specificul operației ce se execută și al mașinii-unelte pe care se efectuează prelucrarea, datorită marii varietăți a formelor posibile de variație a puterii de așchiere. În teză se prezintă calculul acestui filtru pentru cazul danturării cu freză - melc cilindrică, din mai multe motive dintre care se enumeră:

- din punctul de vedere al acestui calcul procedeul este unul dintre cele mai complexe și prezintă oarecare grad de generalitate

- modulul pentru calculul puterii electrice în așchiere a fost încercat și implementat în comanda adaptivă a avansului la danturarea cu freză-melc cilindrică.

Din punctul de vedere al condiției 1. trebuie cunoscută forma de variație a puterii totale. Conform [2.3] și [2.4] la dan-

turarea cu freză-melc cilindrică forțele tangențiale maximă și medie sunt date respectiv de relațiile:

$$F_{t,max} = 2,973 \cdot 10^3 \cdot C_m \cdot m^{1,55} \cdot s_a^{0,8} \cdot e^a \cdot i^{-0,7} \cdot d_{a\dot{s}}^{-0,6} \cdot h_m^{0,75} \cdot v^{-0,28} \quad [\text{daN}] \quad 2.7$$

$$F_{t,med} = 14,75 \cdot C_m \cdot m^{1,4} \cdot s_a^{0,95} \cdot e^a \cdot h_m^{1,4} \cdot v^{-0,28} \quad [\text{daN}] \quad 2.8$$

unde:

$$a = 0,65 \cdot x \cdot z^{-0,35} + 0,012 \cdot \beta$$

Puterea în aschiere, dată de relația:

$$P_a = F_t \cdot v_{a\dot{s}} \quad 2.9$$

va avea aceeași formă de variație în condițiile în care în timpul așchierii nu se reglează viteza de așchiere.

În cazul de calcul care se prezintă, traductorul de putere furnizează așa cum s-a mai arătat un sistem trifazat de tensiuni (caz mai complex decât al semnalului unificat de tensiune sau curent).

Datorită acestui fapt forma semnalului redresat de puntea $D_1 \dots D_6$ în lipsa filtrului corespunde celui furnizat de un redresor trifazat /2.11/ și pulsațiile ei sunt mai mici decât cele determinate de solicitările datorate prelucrării. Totodată frecvența pulsațiilor redresării trifazate este mai mare decât a celor determinate de prelucrare și prin urmare efectul lor se poate neglija la calculul filtrului. Conform determinărilor efectuate cu ocazia unor lucrări contractuale /2.11/ într-un caz concret de prelucrare, semnalul proporțional cu puterea electrică în așchiere este de forma prezentată în figura 2.10.

Analog definiției factorului de ondulație al tensiunii

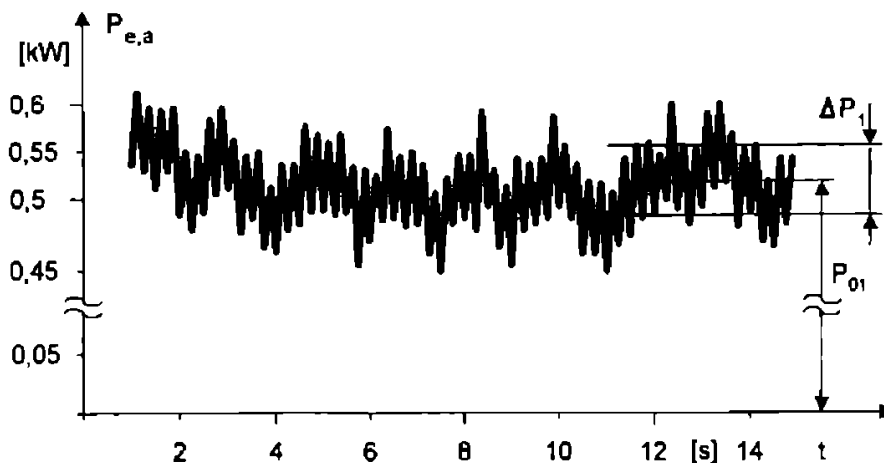


fig.2.10

redresate (în cazul redresoarelor) [4], [5], se poate defini factorul de ondulație al puterii electrice, la ieșirea filtrului, astfel:

$$\gamma_{P1} = \frac{\Delta P_1}{P_{01}} \quad 2.10$$

unde:

ΔP_1 - variația puterii electrice în cursul efectuării prelucrării

P_{01} - valoarea medie a puterii electrice în așchiere

Conform [2.12] la utilizarea unui filtru pasiv ca cel adoptat în prezenta aplicație factorul de ondulație este dat de relația:

$$\gamma_{P1} = \frac{\frac{\pi}{2} - T_1 \cdot \omega_1}{2 \cdot \omega^2 \cdot C_1 \cdot C_2 \cdot R_3 \cdot R_4} \quad 2.11$$

unde:

ω_1 - frecvența circulară (pulsăția) cu care se succed în așchiere dinții frezei melc și este dată de relația:

$$\omega_1 = \frac{\pi \cdot n \cdot i}{30} \quad 2.12$$

având valori variabile după cum pulsațiile sunt mai mult, mai puțin sau deloc întrepătrunse. În relația 2.10 i este numărul de canale ale frezei melc utilizate.

Revenind la prima restricție, experimentările efectuate cu ocazia lucrărilor la prototipul și seria zero ale comenzi adaptive a avansului la danturare /3.11/ au arătat că din punctul de vedere al conducerii procesului este optimă utilizarea unui grad de insensibilitate (definit conform /2.13/) având valoarea cuprinsă între (8-13)%, adică:

$$\delta_p = \frac{2 \cdot \Delta P_1}{P_{01}} = (8 \div 13)\% \quad 2.13$$

Valorile mai mari ale gradului de insensibilitate sunt indicate pentru cazul prelucrărilor (în particular danturării) cu puteri de referință (în așchiere) mai mici iar cele mai mici pentru prelucrări ce sunt însoțite de puteri mari în așchiere. Acesta a constituit motivul pentru care pentru gradul de insensibilitate s-a adoptat valoarea medie de calcul:

$$\delta_p = \frac{2 \cdot \Delta P_1}{P_{01}} = 10 \% \quad 2.14$$

Așa cum va rezulta însă în continuare se pot adopta și alte valori ale gradului de insensibilitate determinate de tipul prelucrării, mașină-unealtă, sculă etc. Filtrarea semnalului furnizat de traductorul de putere electrică activă va trebui astfel efectuată încât în cazul cel mai defavorabil pulsațiile să nu depășească valoarea prescrisă a gradului de insensibilitate. Cazul cel mai defavorabil este cel în care pulsațiile corespunzătoare intrării succesive în așchiere a dinților sculei au frecvență minimă. Acest caz rezultă din utilizarea frezei-melc cu număr minim de canale de degajare a așchiilor la turația minimă permisă de mașina-unealtă /2.11/.

Pentru cazul care s-a exemplificat, al danturării cu mașina **FD-400-13CA1**, conform [2.15] și [2.16] viteza unghiulară minimă cu care dinții frezei melc se succed în așchiere are valoarea:

$$\omega_{1,m} = 52,36 \text{ s}^{-1} \quad 2.15$$

La intrarea filtrului, factorul de ondulație este:

$$\gamma_P = \frac{2 \cdot (P_{\max} - P_{\text{med}})}{P_{\text{med}}} = \frac{2 \cdot (F_{t,\max} - F_{t,\text{med}})}{F_{t,\text{med}}} \quad 2.16$$

Introducerea filtrului preconizat asigură în cazul cel mai defavorabil (roată de grosime mică), conform [2.12] o reducere a factorului de ondulație în raportul:

$$k_\gamma = \frac{\gamma_P}{\gamma_{P1}} = \frac{\pi}{\pi - \theta} \cdot \omega^2 C_1 C_2 R_3 R_4 \cong 0,5 \omega^2 C_1 C_2 R_3 R_4 \quad 2.17$$

Pentru acest caz, anterior menționat, egalând gradul de insensibilitate, δ_P -caracteristică a comenzii adaptive, dat de relația 2.13 cu factorul de ondulație al puterii la ieșirea filtrului γ_{P1} , ținând seama de 2.17 se obține:

$$\omega^2 C_1 C_2 R_3 R_4 = \frac{2}{\delta_P} \cdot \frac{(P_{\max} - P_{\text{med}}) \cdot 2}{P_{\text{med}}} = \frac{4}{\delta_P} \cdot \left(\frac{P_{\max}}{P_{\text{med}}} - 1 \right) \quad 2.18$$

adică pentru cazul cel mai defavorabil, cel al pulsației minime, $\omega_{1,m}$:

$$C_1 C_2 R_3 R_4 = \frac{40}{\omega_{1,m}} \cdot \left(\frac{P_{\max}}{P_{\text{med}}} - 1 \right) = 0,0146 \cdot \left(\frac{P_{\max}}{P_{\text{med}}} - 1 \right) \quad 2.19$$

622 701/2665.

Relația de mai sus permite dimensionarea rapidă, corectă și acoperitoare a elementelor componente ale filtrului.

Cu ocazia aceluiași experimentări s-a constatat că pentru a asigura o protecție eficientă a mașinii-unelte, dispozitivelor, sculelor și piesei la supraîncărcări accidentale posibile în cazul existenței comenzii adaptive (ca de altfel și în lipsa ei, atunci însă neexistând mijloace eficiente de contracarare) este necesară o valoare a constantei de timp a filtrului care să nu depășească câteva zecimi de secundă /2.11/. Pentru cazul unei supraîncărcări bruște și intense schema echivalentă a ansamblului traductor, redresor (D_1+D_6) și filtru pasiv este cea din figura 2.11.

Anticipând ordinul de mărime al rezistenței R_3 conform [2.12] și determinând prin măsurători valoarea: $r = 2,5 \Omega$ se constată că:

$$r \ll R_3 \quad 2.20$$

Din considerente de simplitate urmând să se adopte:

$$C_1 = C_2 = C, \quad 2.21$$

ținând seama de relația anterioară rezultă:

$$R \cdot C = \tau_1 \ll \tau_2 = \frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} \cdot C, \quad 2.22$$

adică constanta de timp a ansamblului traductor de putere electrică activă, redresor, filtru pasiv este determinată practic de constanta de timp a celui din urmă.

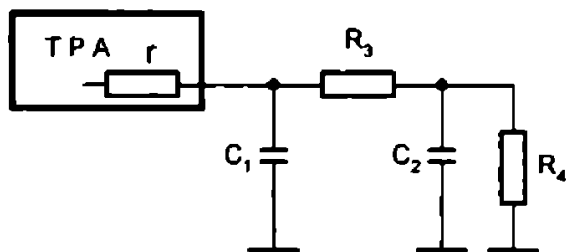


fig. 2.11

Acest fapt prezintă o importanță remarcabilă în sensul că înlocuirea eventuală a traductorului de putere activă nu impune efectuarea unor modificări ale filtrului pasiv, dimensionarea acestuia fiind strict determinată de procesul de așchiere, mașină-unelte și sculă așchietoare.

Impunând ca această constantă de timp să nu depășească valoarea de câteva zecimi de secundă, menționată anterior se obține a doua relație pentru dimensionarea elementelor filtrului:

$$\frac{R_3 \cdot R_4}{R_3 + R_4} \cdot C \leq 0,3 \text{ s} \quad 2.23$$

Valoarea de **0,3** secunde obținută experimental și apreciată de autor ca fiind cvasioptimă pentru cazul danturării cu freză-melc cilindrică pe FD-400 nu este critică, nefiind indicate totuși abateri prea mari. La alt tip de mașină și la alte procedee de prelucrare prin așchiere valoarea constantei de timp trebuie reconsiderată. În ce privește cealaltă componentă a restricției 2. fiecare tip de prelucrare trebuie tratat distinct. În cazul danturării, exemplificate anterior ca aplicație, cu ocazia testării prototipului și a seriei zero a comenzii adaptive a avansului la danturare s-a constatat necesitatea ca reglarea avansului să se efectueze cu o constantă de timp foarte mare, realizată prin soluția constructivă mecanică a *grupului reductor-inversor* /3.10/, trecerea de la valoarea minimă la cea maximă a avansului realizându-se în aproximativ patru rotații ale mesei piesei.

În cazul utilizării turației maxime (300 rot/min la FD-400) la danturarea unei roți având un număr de dinți apropiat de cel minim posibil timpul măsurat în care s-a parcurs întregul interval al avansului de lucru a fost:

$$T_{m,M} \cong 9 \text{ s} \quad 2.24$$

Acest timp foarte lung nu impune condiții de dinamică circuitelor ce prelucrează semnalele care vor determina modificarea avansului, deci implicit nici filtrului pasiv. S-a determinat în cursul experimentărilor că pentru o putere electrică de **7,5 kW** absorbită de electromotorul acționării principale, tensiunea U_{106} este situată în jurul valorii de **7,5 V_{CC}**. Avându-se în vedere utilitatea ca modulul să poată fi folosit și interconectat cu orice alte tipuri de traductoare de putere activă care furnizează tensiuni de cap de scală de **+5 V_{CC}** sau **+10 V_{CC}**, ținând seama de relațiile 2.16 și 2.19 s-a adoptat:

$$\begin{aligned} R_3 &= 3,6 \text{ k}\Omega \\ R_4 &= 9,1 \text{ k}\Omega \\ C &= 22 \mu\text{F} \end{aligned} \quad 2.25$$

valori utilizate și verificate în comanda adaptivă a avansului la produsul **FD 400-13 CA 1**, omologat pentru seria zero. Se mai face încă o dată menționarea că structura adoptată a filtrului permite utilizarea modulului la orice aplicație de măsurare a puterii electrice prin efectuarea unui calcul simplu de dimensionare a elementelor **R** și **C** componente în cazul concret al procedurii de prelucrare și al mașinii-unelte utilizate.

a2. Amplificatorul neinversor

Acest circuit are rolul de a amplifica semnalul obținut la ieșirea filtrului pasiv astfel încât unei puterii maxime absorbite de electromotorul acționării principale (7,5 kW în cazul concret considerat) să-i corespundă o tensiune continuă de cap de scală :

$$U_{105,FS} = 10 V \quad 2.26$$

fiind implementat prin utilizarea ca element activ a secțiunii A1/1 a amplificatorului operațional cuadruplu integrat CI₁- β M324. Totodată, pentru o cât mai largă versatilitate a modulului s-a considerat ca utilă posibilitatea de-a efectua măsurări de putere și pe o scară mai sensibilă. Comutarea pe această scară se face prin conectarea punctului **S** la masă, soluție ce permite comanda ei de la o ieșire de automat programabil. Tot la intrarea acestui amplificator se aplică și tensiunea **U₁₀₄** de la circuitul pentru suprimarea regimului tranzitoriu, care pe durata temporizării **T₁** inhibă accesul tensiunii de la traductorul de putere electrică activă, din motive care vor rezulta la punctul **b**.

a3. Amplificatorul sumator

Este circuitul ce implementează relația de calcul a puterii electrice în așchiere, realizând suma algebrică:

$$U'_{107} = U_{105} + U_{113} \quad 2.27$$

unde:

- U_{105} - măsură a puterii electrice
- U'_{107} - măsură a puterii electrice în așchiere
- U_{113} - măsură a puterii electrice consumate în gol (este o tensiune negativă),

fiind realizat prin utilizarea ca element activ a secțiunii A4/1 a aceluiași circuit integrat. Filtrul trece-jos în gamma conectat la ieșirea amplificatorului are rolul de a bloca accesul eventualelor componente de frecvență mare spre ieșirea modulului. Pentru realizarea precisă a sumei algebrice (în condițiile în care **U₁₁₃** este o măsură a puterii electrice în gol **-P_{e,g}** cu același factor de proporționalitate ca și **P_e**) este necesară o relație riguroasă între valorile elementelor **R₉**, **R₁₂** și **R₁₆**, astfel încât egalitatea:

$$R_{12} + R_{16} = R_9 \quad 2.28$$

să fie satisfăcută cu o precizie superioară celei cu care se dorește sau se impune efectuarea măsurărilor. Dacă nu se impune utilizarea aceluiași factor de proporționalitate pentru P_e și $P_{e,g}$, compensarea puterii electrice în gol se poate realiza cu aceeași precizie chiar și fără respectarea relației de mai sus.

Rezistența R_{10} și semireglabilul P_3 se utilizează doar în cazul în care se dorește măsurarea puterii în așchiere cu un alt factor de scară decât cel al puterii totale. Pentru asigurarea unei versatilități sporite a modulului, circuitul redresor amplificator este prevăzut și cu o intrare pentru recepția semnalelor de la alte tipuri de traductoare de putere al căror semnal de ieșire este o tensiune continuă. Acesta se aplică la borna notată I_n , nefiind necesară nici adăugarea nici eliminarea vreunui component din structura modulului.

b. Circuitul pentru suprimarea regimului tranzitoriu

Se cunoaște că la pornire curentul absorbit de orice electromotor este de câteva ori mai mare decât cel nominal, determinând o creștere puternică a puterii momentane, eventual chiar peste valorile la care acționează circuitele de protecție din structura comenzii adaptive. Pentru a se preîntâmpina posibilitatea unor semnalizări false, generatoare de opriri nedorite ale ciclului mașinii-unelte, în structura modulului pentru calculul puterii electrice în așchiere s-a inclus circuitul pentru suprimarea regimului tranzitoriu (de fapt al efectelor sale).

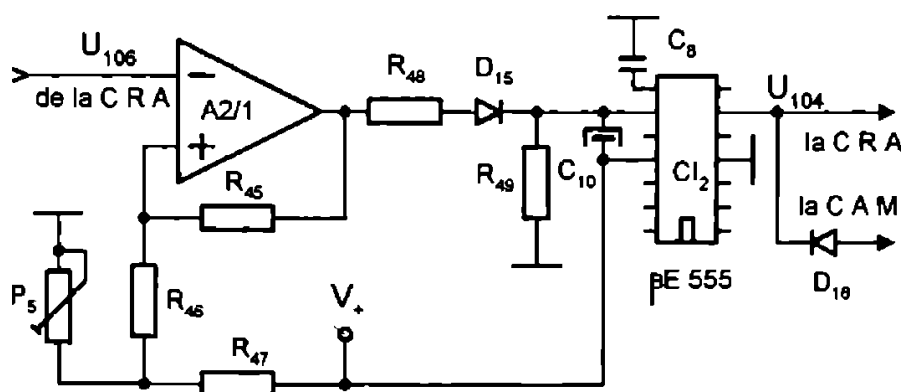


fig. 2.12

Acesta trebuie să blocheze accesul tensiunii U_{106} spre intrarea amplificatorului neinvertor din componența circuitului redresor amplificator pe durata pornirii electromotorului acționării principale. Pentru realizarea acestei funcțiuni s-a adoptat pentru acest circuit schema de principiu din figura 2.12. Acest circuit primește la intrare semnalul

U_{106} - de la circuitul redresor amplificator- cu semnificația că electromotorul acționării principale este conectat la rețea și furnizează semnalul

U_{104} - spre același circuit și spre compensatorul automat conform corelațiilor din figura 2.13.

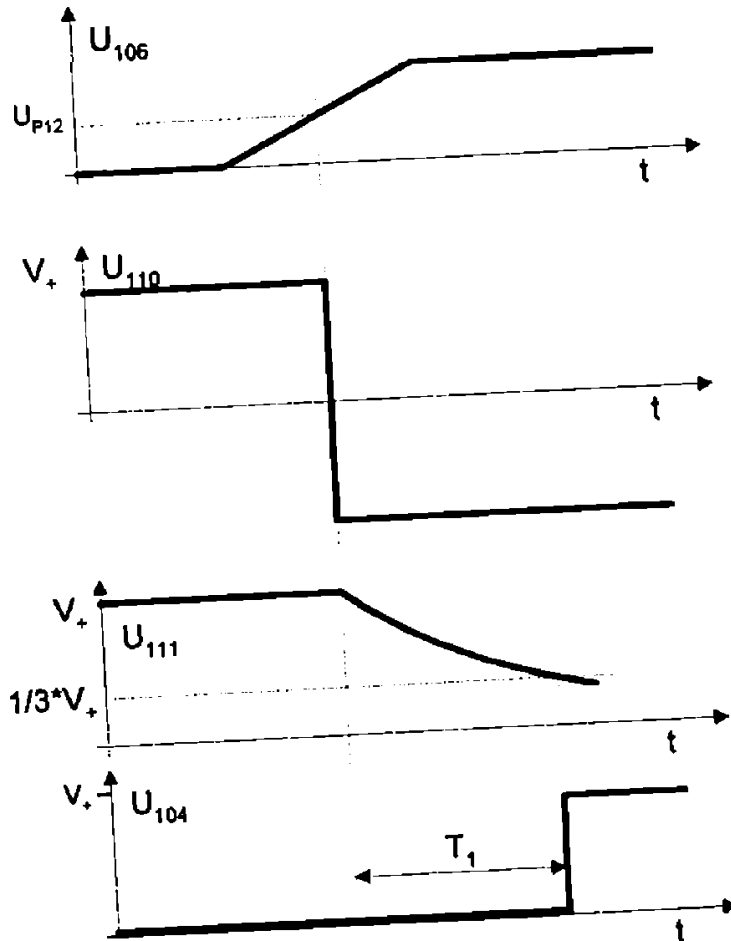


fig.2.13

Accesul tensiunii U_{106} spre amplificatorul neinversor este inhibat atâta timp cât electromotorul acționării principale nu este conectat la rețea și va rămâne așa pe durata T_1 calculată din momentul conectării. Durata temporizării T_1 este dată de relația:

$$T_1 = 1,1 \cdot R_{41} \cdot C_8$$

2.29

fiind independentă de tensiunea de alimentare. Ea trebuie astfel aleasă încât să fie acoperitoare față de durata regimului tranzitoriu al pornirii electromotorului acționării principale, obținabilă din catalog sau determinabilă experimental. De exemplu în cazul concret al comenzii adaptive a avansului și vitezei la danturarea cu freză-melc cilindrică s-a adoptat valoarea:

$$T_1 = 2,4 \text{ s.}$$

După expirarea temporizării T_1 semnalul U_{108} se transferă integral la intrarea amplificatorului neinvertor din circuitul redresor amplificator.

c. Circuitul de semnalizare și avarie

Având în vedere că modulul prezentat trebuie să îndeplinească funcțiuni multiple inclusiv posibilitatea de auto-testare în cadrul sistemelor de comandă adaptivă, apare ca necesară semnalizarea stărilor proprii și valorilor mărimilor măsurate. Dată fiind această situație se definesc cazurile ce se consideră **Avarie** și anume:

- depășirea valorii maxime admise a puterii electrice absorbite de electromotorul acționării principale
- depășirea unei valori stabilite a puterii electrice în așchiere.

Totodată este utilă semnalizarea optică în vederea observării vizuale a compensării puterii electrice în gol în timpul funcționării și a capacității compensatorului automat de-a asigura compensarea în timpul regimului de testare a modului. Schema de principiu a circuitului de semnalizare și avarie, care realizează funcțiile mai sus enunțate este cea prezentată în figura 2.14. Funcțiile enumerate sunt asigurate după cum urmează:

- cu comparatoarele C3/3 și C4/3 ca elemente active din comparatorul cuadruplu integrat CI₃- β M339 se sesizează dacă puterea consumată în gol este sau nu compensată. Afișarea vizuală este asigurată cu LED-urile D₂₄ (+) și D₂₅(-). Puterea în gol este compensată când ambele LED-uri sunt stinse.
- cu amplificatoare operaționale A3/6 și A4/6 ca elemente active și LED-urile D₂₇ (IN) și D₂₈ (S) se supraveghează respectiv se semnalizează starea și capacitatea compensatorului automat de-a asigura compensarea puterii electrice consumate în gol.

Așa cum se va vedea la punctul d, pentru a asigura compensarea automată, compensatorul automat aplică la intrarea amplificatorului sumator (A4/1) din compunerea circuitului redresor amplificator o tensiune negativă cu valoarea absolută cuprinsă în intervalul (0+10) V. Este posibilă compensarea oricărei valori a puterii în gol, căreia îi corespunde o tensiune care îndeplinește condiția:

$$U_{Pc,g} \leq 10 \text{ V}$$

2.30

Se observă din examinarea schemei de principiu a circuitului

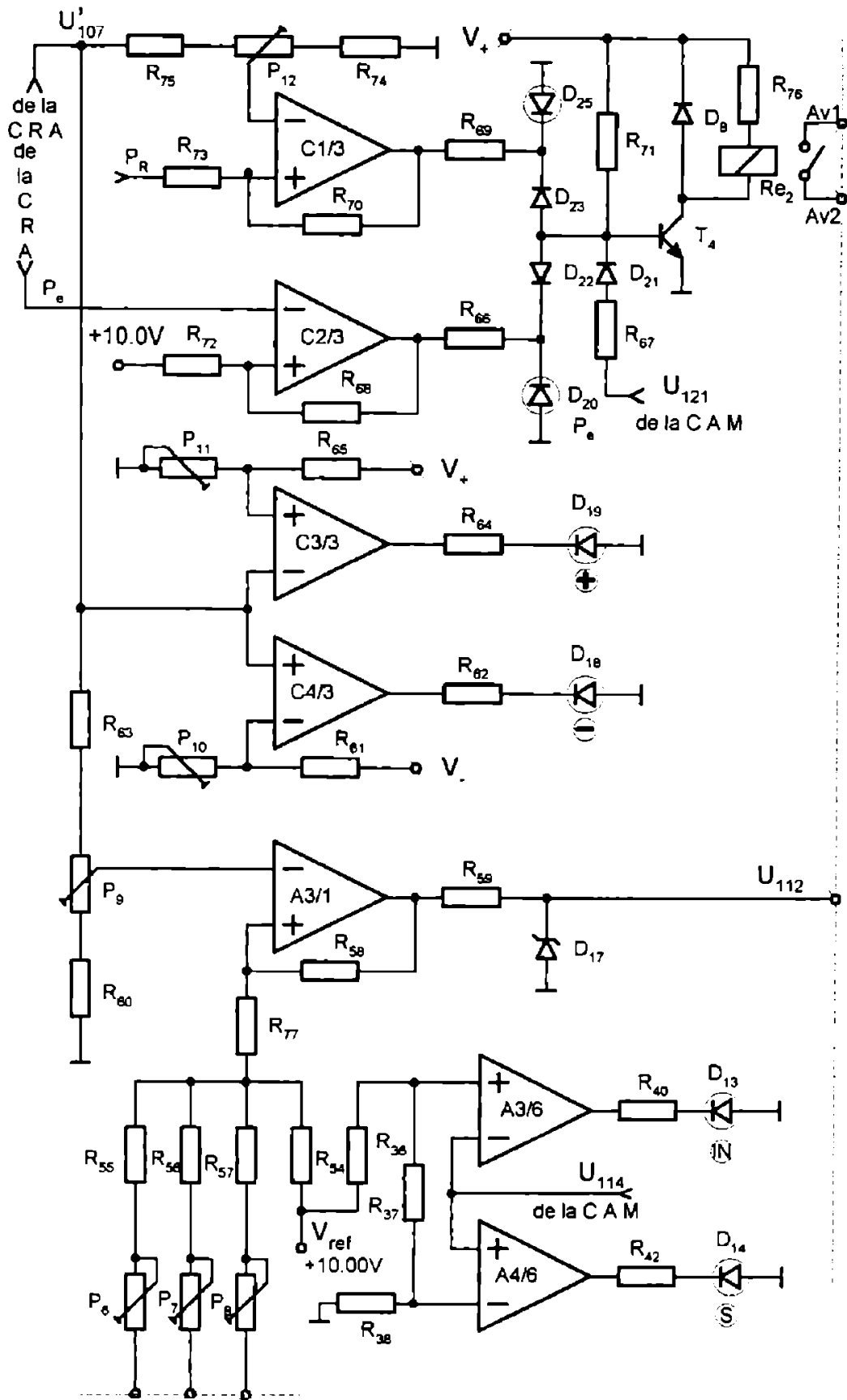


fig.2.14

de semnalizare și avarie că LED-ul D_{27} semnalizează apropierea de valoarea maximă, iar D_{28} apropierea de valoarea minimă ale $P_{e,g}$ care mai pot fi compensate. Cu această parte a circuitului se controlează și buna funcționare a compensatorului automat, conform celor ce se vor prezenta la paragraful consacrat prezentării acestuia. Interpretarea semnalizărilor **IN** și **S** se face în corelație cu semnalizările (+) și (-) conform celor prezentate în același paragraf.

- depășirea puterii totale maxime admise este sesizată cu comparatorul C2/3 ca element activ și afișată cu LED-ul D_{20} (P_{e}).

- compararea puterii electrice în așchiere cu un multiplu (determinat de elementele R_{74} , R_{75} și P_{12}) al puterii electrice de referință realizată prin utilizarea secțiunii C1/3 a comparatorului cuadruplu integrat CI3- β M339. Depășirea este semnalizată prin aprinderea LED-ului D_{25} ($P_{e,s}$). Funcția de supraveghere implementată crează oportunități de protecție în cazul lucrului cu valori mici ale puterilor electrice în așchiere.

Ultimele două situații considerate "**Avarie**" așa cum s-a mai precizat se semnalizează electric spre automatul programabil care conduce ciclul mașinii-unelte, prin deschiderea contactului între bornele AV1 și AV2.

De asemenea acest circuit furnizează un semnal logic- U_{112} , rezultat al comparării unei părți din puterea electrică în așchiere cu valoarea sa de referință furnizată din exterior printr-unul din divizoarele P_6 , R_{55} , P_7 , R_{56} sau P_8 , R_{57} și R_{54} , utilizând ca element activ secțiunea C1/3 a aceluiași comparator integrat.

La comanda adaptivă a avansului și vitezei la danturare această facilitate nu a fost utilizată, dar ea a fost introdusă din rațiuni de anticipare a solicitărilor ce pot apărea în aplicațiile ulterioare realizării modulului.

d. Compensatorul automat

Experimentarea diferitelor comenzi adaptive a dovedit că în cazul măsurării puterii electrice în așchiere, pentru eliminarea cât mai completă a influenței factorilor perturbatori precizați și ai altora care sunt foarte dificil de anticipat, evaluat și cuantificat este necesară compensarea puterii electrice consumate în gol la începutul fiecărui ciclu de prelucrare. Tot așa în cazul în care măsurarea parametrului controlat se realizează utilizând senzori cu traducătoare inductive este necesară compensarea tensiunii reziduale din diagonala punții, existentă datorită armonicilor chiar la montajele foarte bine echilibrate. Dacă tensiunea reziduală are de regulă valori mici, puterea electrică consumată în gol

poate avea valori importante, fapt ce impune utilizarea unui compensator automat cu câteva particularități, elaborat în cadrul tezei. Literatura de specialitate cunoaște realizări de compensatoare automate utilizabile cu rezultate bune la măsurări în laborator. Ele au însă câteva neajunsuri care le fac inutilizabile în aplicații de uz industrial și anume:

- lipsa durabilității și fiabilității componentelor cu părți în mișcare (micromotoare, potențiometre) etc.
- caracteristici dinamice modeste care nu permit urmărirea promptă și precisă a variațiilor mărimii ce urmează a fi compensată
- consum relativ mare de putere din cauza micromotoarelor
- precizie limitată de caracteristicile potențiometrului.

Aceste considerente au determinat necesitatea elaborării unui compensator automat fără componente în mișcare cu caracteristici dinamice adecvate aplicațiilor în comanda adaptivă sau protecția sculelor și având unele particularități față de compensatorul utilizat la compensarea tensiunii reziduale din diagonala punților cu transductoare inductive, tratat în capitolul 3. Structura compensatorului rezultă din cerințele generale impuse modulului, din interconexiunea cu celelalte circuite componente ale sale, caracteristicile procesului de prelucrare și ale mașinii-unelte. Acesta este circuitul cel mai complex din compunerea modulului pentru calculul puterii electrice în așchiere fiind organizat conform schemei bloc din figura 2.15.

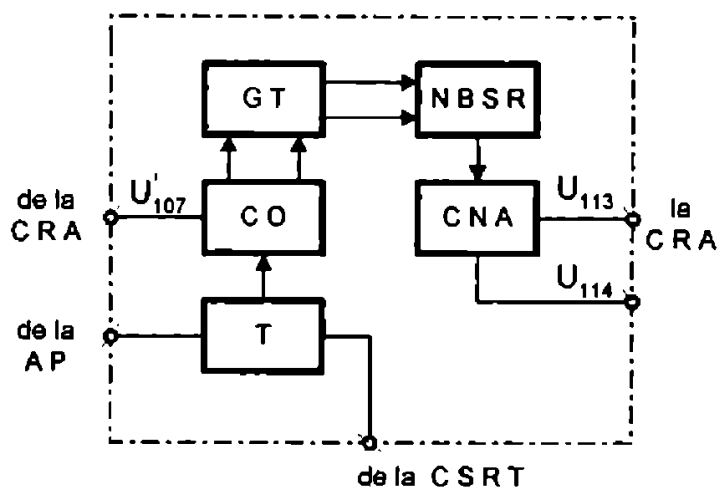


fig.2.15

Compensatorul automat interconectat cu circuitul redresor amplificator așa cum s-a prezentat în figura 2.8, conform cerințelor impuse modulului pentru calculul puterii electrice în așchiere (determinate de procesul de așchiere și mașina-unelte) trebuie să funcționeze în felul următor:

Atâta timp cât nu se așchiază (deci $P_{e,a} = 0$) compensatorul automat trebuie să controleze continuu tensiunea proporțio-

nală cu puterea electrică în aşchiere ($U_{Pe,a}$) și să aplice la intrarea amplificatorului sumator din compunerea circuitului redresor amplificator o tensiune negativă care însumată algebric (conform relației 2.27) cu cea proporțională cu puterea electrică absorbită de electromotorul acționării principale să asigure îndeplinirea condiției:

$$U_{Pe,a} = 0 \quad 2.31$$

Când se conectează avansul de lucru circuitul trebuie să memoreze pe întreaga durată a ciclului de prelucrare ultima valoare a tensiunii negative furnizate care asigura satisfacerea relației 2.31. Pentru realizarea acestei funcționări compensatorul automat primește la intrare semnalele:

U'_{107} - de la circuitul redresor amplificator, măsură a puterii electrice în aşchiere

U_{118} - semnal de tip contact de la AP sau alt bloc electronic ce conduce mașina-unealtă, conform corespondenței:

$U_{118} = 0$ (contact închis) - avansul de lucru este conectat urmând să se efectueze prelucrarea.

$U_{118} = 1$ (contact deschis) - avansul de lucru nu este conectat

și furnizează tensiunile:

U_{113} - negativă, având modulul proporțional cu puterea electrică în gol.

U_{114} - pozitivă, proporțională cu puterea electrică consumată în gol.

Funcționarea circuitului, conform schemei bloc din figura 2.15, este următoarea:

Atâta timp cât nu se aşchiază, situație semnalizată circuitului de la automatul programabil (sau alt bloc electronic de comandă al ciclului mașinii-unelte) prin contact deschis între borna **A** și masă (U_{118} de nivel ridicat) și caracterizată prin $P_{e,a} = 0$, comparatoarele permit accesul impulsurilor furnizate de generatorul de tact spre una din intrările număratorului binar sincron reversibil, funcție de semnul tensiunii U'_{107} astfel:

- la intrarea de numărare directă dacă $U'_{107} > 0$

- la intrarea de numărare inversă dacă $U'_{107} < 0$

Prin aceasta pentru primul caz tensiunea negativă U_{113} aplicată circuitului redresor amplificator va fi descrescătoare, tinzând să schimbe semnul tensiunii U'_{107} , iar pentru al doilea caz U_{113} va fi crescătoare tinzând de asemenea să schimbe semnul tensiunii U'_{107} . Este vorba despre o buclă de reacție negativă foarte puternică care tinde, așa cum s-a mai spus, să realizeze condiția de echilibru dinamic:

$$U'_{107} = U_{Pe,p} = 0 \quad 2.32$$

Tensiunea negativă U_{113} care va compensa puterea în gol este furnizată de convertorul numeric-analogic și este dependentă de conținutul numărătorului binar sincron reversibil $-N-$ conform relației:

$$U_{113} = -\frac{N}{2^8} \cdot 10 \text{ V} \quad 2.33$$

Același convertor numeric-analogic furnizează și o tensiune pozitivă egală în modul cu U_{113} , măsură a puterii electrice consumate în gol de electromotorul acționării principale:

$$U_{114} = U_{Pe,g} \quad 2.34$$

La cuplarea avansului de lucru (semnalizată modulului prin conectarea la masă a punctului **A** și menținerea în această stare), dacă este îndeplinită condiția logică:

$$U_{104} = 1 \text{ (H)} \quad 2.35$$

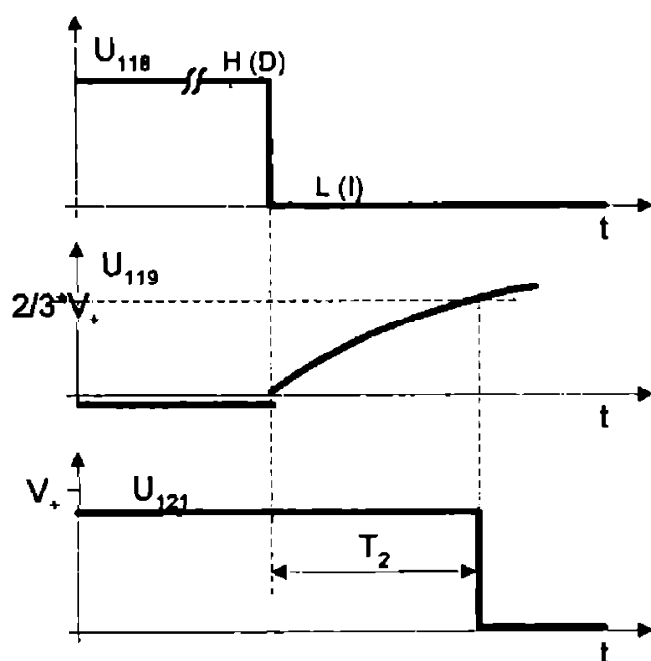


fig.2.16

temporizatorul realizează o temporizare cu durata T_2 , necesară pentru amortizarea eventualelor procese tranzitorii, conform diagramei temporale din figura 2.16. Dacă condiția 2.35 nu este îndeplinită, lansarea temporizării T_2 se produce doar după trecerea tensiunii U_{104} în starea 1 logic, conform diagramei de semnal din figura 2.17, temporizările T_1 și T_2 având așa cum s-a mai arătat roluri distincte și specifice. Prezența temporizării T_2 , nederanjantă

din punctul de vedere al capacității de producție a mașinilor unelte s-a dovedit a fi deosebit de benefică [3.9], [3.10], [6], sub aspectul măririi preciziei cu care se determină puterea electrică în așchiere, luându-se în considerare și compensându-se și efectele perturbațiilor generate de pornirea avansului de lucru. Trebuie remarcat și faptul că temporizarea T_2 este necesară și dintr-un alt considerent:

Pentru orice motor electric datele de catalog precizează un număr maxim admis de cicluri *oprire-pornire pe oră* [2.6]. Din rațiuni de limitare a acestui număr de cicluri se

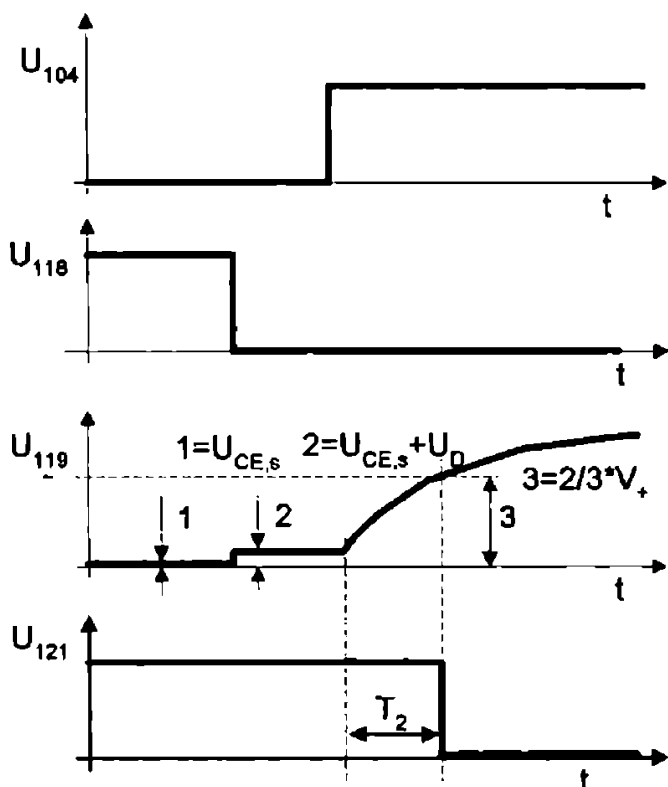


fig. 2.17

întâlnesc cazuri în care electromotorul acționării principale nu se deconectează la sfârșitul fiecărui ciclului de prelucrare, fapt ce ar împiedica așa cum rezultă din funcționarea circuitului pentru suprimarea regimului tranzitoriu realizarea compensării puterii electrice în gol înaintea următorului ciclu de prelucrare. La epuizarea temporizării T_2 , se blochează accesul impulsurilor de tact sp num r or și circuitul trece în regim de memorare pe

durată infinită, reținând ultima valoare a tensiunii:

$$U_{113} = -U_{pe.g} \quad 2.36$$

care a asigurat satisfacerea relației 2.32.

d1. Generatorul de tact

Generatorul de tact are menirea de-a asigura impulsurile de tact de forma și amplitudinea corecte, pentru comanda intrărilor de numărare înainte sau înapoi ale numărătorului binar sincron reversibil. El are o schemă de principiu ca în figura 2.18, la realizarea sa folosindu-se secțiunea C1/5 a comparatorului cuadruplu integrat CI₅- β M339, tranzistoarele T_1 și T_2 ca elemente active și componentele pasive aferente.

Frecvența tactului generat -aproximativ **2 kHz**- nu trebuie să aibă o valoare precisă, dar trebuie totuși să satisfacă două condiții antagoniste și anume:

- viteza de numărare să fie suficient de mare pentru a se asigura compensarea într-un interval de timp cât mai scurt posibil.

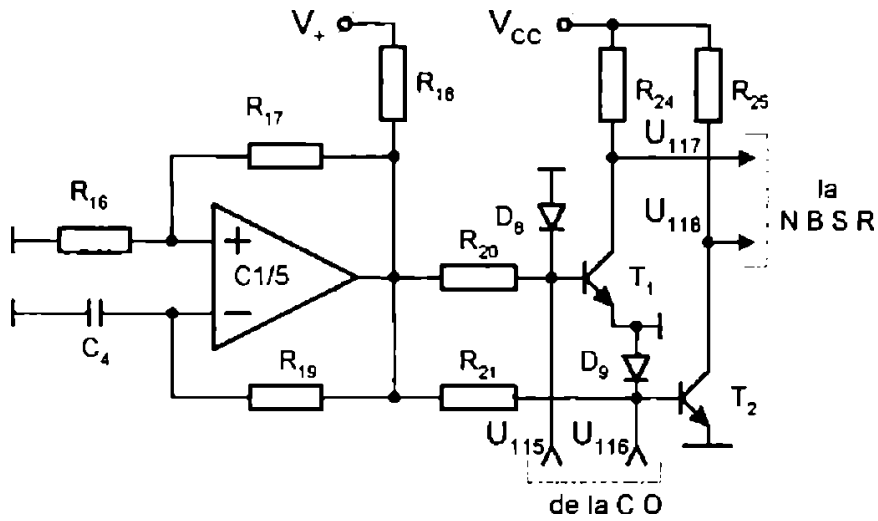


fig. 2.18

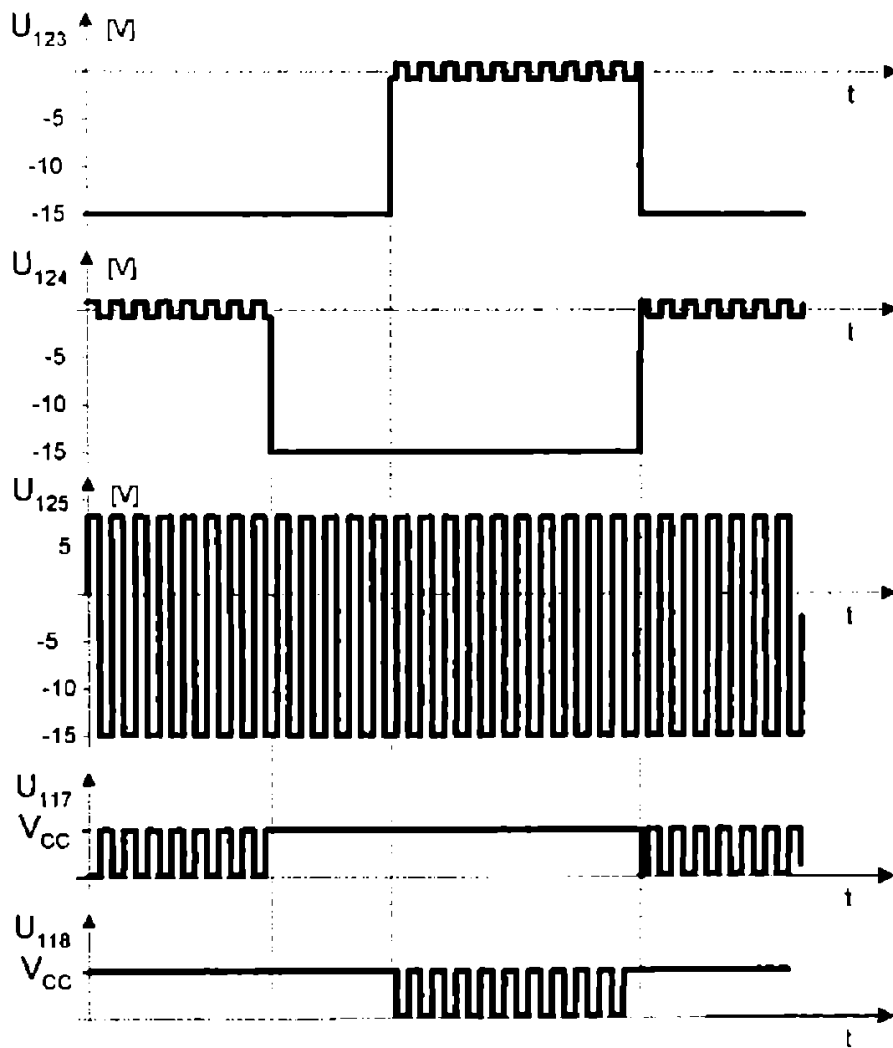


fig.2.19

- viteza de numărare să nu depășească posibilitățile de răspuns ale circuitului redresor amplificator și comparatoarelor, având în vedere și existența filtrului trece-jos realizat cu R_{14} , C_5 și R_{15} .

Întrucât numărătorul este de opt biți, la frecvența menționată a generatorului de tact, timpul maxim necesar realizării compensării este:

$$T_{m,c} = 2^8 \cdot \frac{1}{f_{GT}} = 2^8 \cdot \frac{1}{2 \cdot 10^3} = 0,128 \text{ s} \quad 2.37$$

absolut acoperitor și suficient dacă se au în vedere constantele de timp specifice mașinilor-unelte.

Transmiterea impulsurilor furnizate de generatorul de tact spre intrările numărătorului binar sincron reversibil este condiționată de nivelele tensiunilor U_{123} și U_{124} , conform diagramelor din figura 2.19. Așa cum reiese din schema comparatoarelor prezentate în paragraful următor, aceste tensiuni sunt determinate de semnul tensiunii U'_{107} și de comenzile primite de la automatul programabil care conduce ciclul mașinii-unelte.

Cazul $U_{123} = U_{124} = 0$ n-a fost reprezentat în figura menționată întrucât performanțele comparatorului cuadruplu, raportate la cerințele aplicațiilor de comandă adaptivă a mașinilor unelte sau de protecție a sculelor, concepția modulului și modul de conectare a secțiunilor C2/5 și C3/5 elimină această situație, oricum nedorită.

d2. Temporizatorul

Includerea acestui circuit în componența modulului a fost determinată de necesitatea realizării a două funcțiuni specifice sistemelor de comandă mașinilor-unelte și anume:

- asigurarea compensării cu eliminarea eventualelor efecte ce s-ar datora regimurilor tranzitorii determinate de conectarea avansului de lucru.

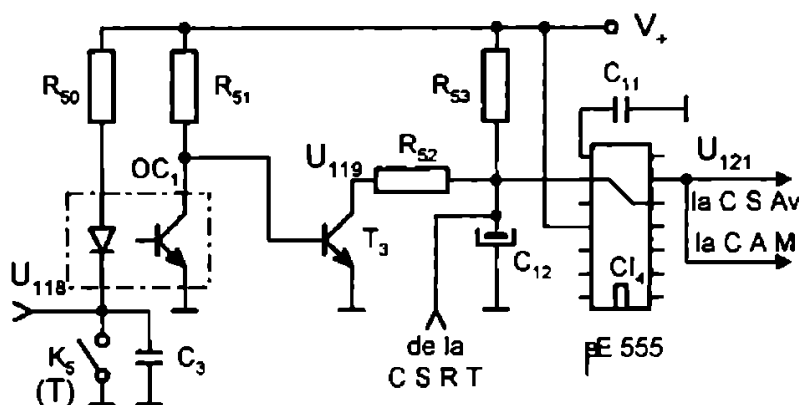


fig. 2.20

- "formarea" semnalului U_{118} aplicat de la automatul programabil care conduce mașina-unealtă sau alt bloc electronic de comandă.

Schema de principiu a temporizatorului se prezintă în figura 2.20. Ca element activ este utilizat timer-ul integrat CI₄- β E555. Pentru o bună separare față de circuitele exterioare se utilizează la intrare optocuplorul OC₁ tip ROL 61.

Funcționarea circuitului rezultă integral din diagramele de semnal care au fost prezentate în fig.2.16 și 2.17.

Durata temporizării T_2 , dată de relația:

$$T_2 = 1,1 \cdot R_{33} \cdot C_{12} \quad 2.38$$

a fost aleasă astfel încât să respecte condiția:

$$T_2 \geq T_{tr} + T_{m,c} \quad 2.39$$

unde:

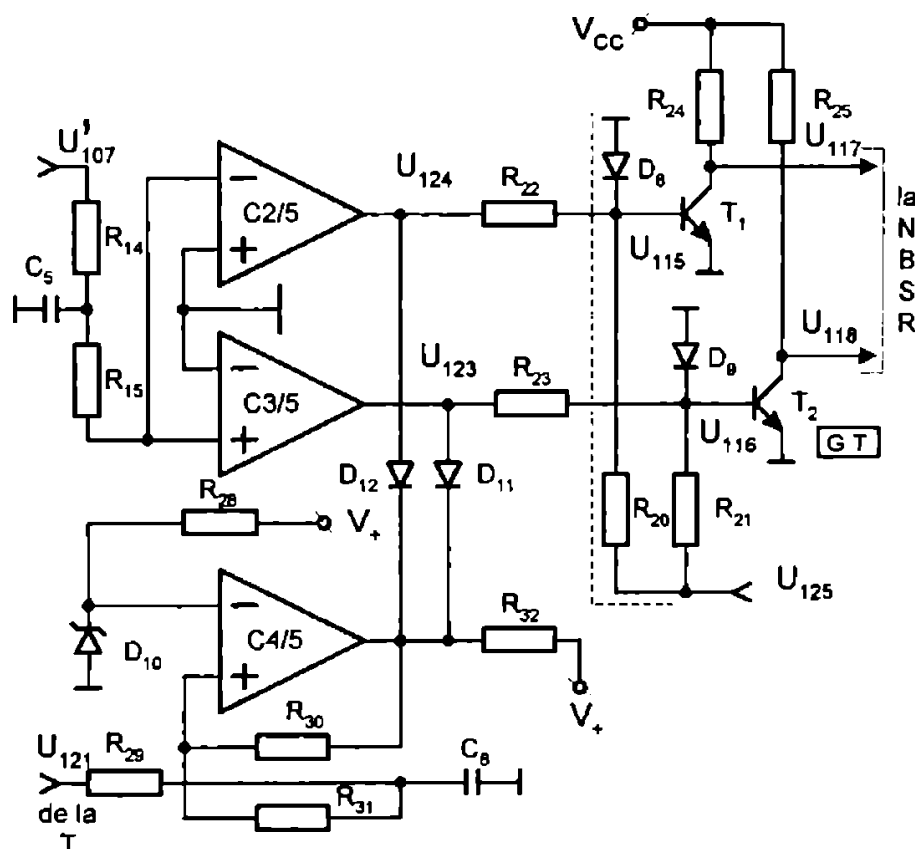


fig. . 1

T_{tr} - durata maximă a regimurilor tranzitorii determinate de conectarea avansului de lucru

$T_{m,c}$ - timpul maxim necesar compensării, conform relației 2.37.

În cazul concret al comenzii adaptive a avansului la mașina de danturat cu freză-melc cilindrică s-a determinat experimental, /2.1/, /2.11/, /6/, că valoarea:

$$T_r = 0,7 \text{ s} \quad 2.40$$

este acoperitoare, adoptându-se pentru T_2 valoarea de siguranță:

$$T_2 = 1 \text{ s} \quad 2.41$$

d3. Comparatoarele

Sunt circuitele care controlează accesul impulsurilor furnizate de generatorul de tact spre intrările de numărare directă sau inversă ale numărătorului binar sincron reversibil. Comparatoarele au schema de principiu prezentată în figura 2.21. Se observă că s-a prezentat în conexiune cu ele și o parte a generatorului de tact pentru o mai facilă descriere și înțelegere a funcționării. Aceasta este descrisă de ecuațiile logice:

$$U_{117} = \overline{U_{112} \cdot U_{125} \cdot A} \quad 2.42$$

$$U_{118} = \overline{U_{122} \cdot U_{135} \cdot A}$$

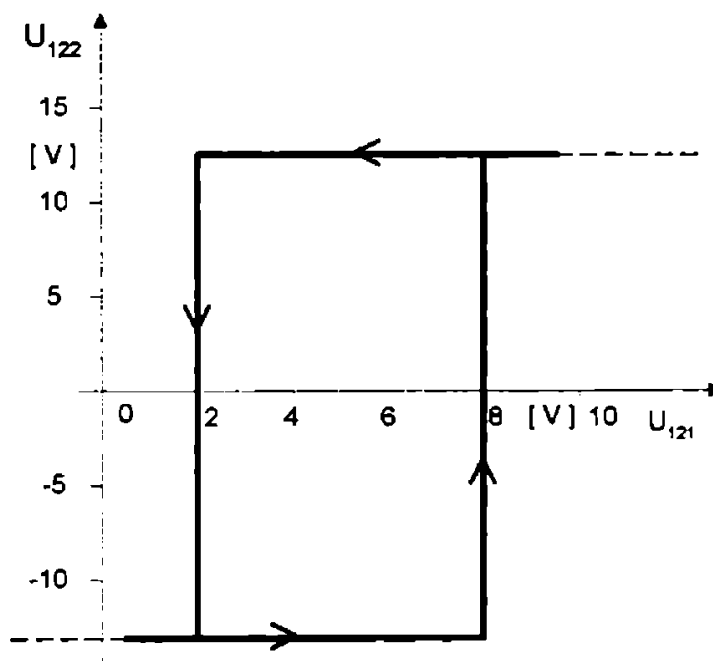


fig. 2.22

unde:

$$A = 1 \text{ dacă } U'_{107} < 0;$$

$$A=0 \text{ dacă } U'_{107} > 0;$$

În figura 2.22 se prezintă diagrama: $U_{122}=f(U_{121})$. Oscilogramele tensiunilor U_{117} și U_{118} , care descriu integral funcționarea sunt prezentate în figura 2.19. Comparatoarele C2/5 și C3/5 lucrează fără histereză pentru a detecta cu maximă precizie variații cât mai mici ale tensiunii U'_{107} în jurul valorii de 0 V .

Dimpotrivă comparatorul C4/5 lucrează cu histereză "largă" pentru a se asigura comutarea fără oscilații, în condițiile unei sporite imunități la perturbații, deci o blocare fermă a numărătorului la trecerea compensatorului automat din regimul de urmărire în cel de memorare pe durata infinită.

d4. Numărătorul binar sincron reversibil

Este realizat cu două circuite integrate CI_8 , CI_9 de tip CDB4193 biți (conectate în cascadă, formând un numărător de opt biți.

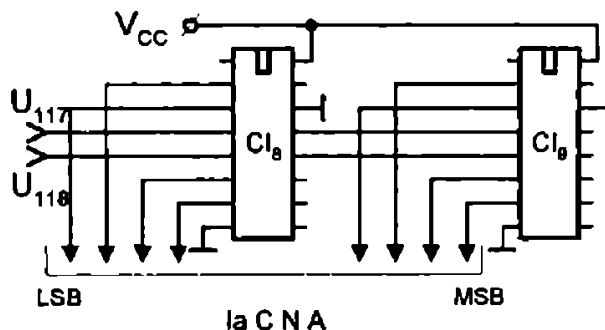


fig. 2.23

Schema sa de principiu se prezintă în figura 2.23. Argumentarea capacității rezultă din paragraful următor. Fiind vorba de o schemă consacrată nu se descrie funcționarea. Ulterior pentru ca modulul să nu necesite și o sursă de alimentare de $+5\text{V}$ s-au utilizat circuite integrate MOS MMC40193.

d5. Convertorul numeric analogic

Acest circuit primește la intrări setul de opt biți de ieșire ai numărătorului și furnizează o tensiune analogică cu semn negativ, conform relației 2.33, folosind ca elemente active circuitul integrat DAC08 și secțiunile A1/6 și A2/6 ale amplificatorului operațional cuadruplu integrat CI_6 - $\beta M324$. Conform aceleiași relații, construcției numărătorului și convertorului a cărui schemă de principiu se prezintă în figura 2.24, tensiunea de capăt de scală (-10V) se realizează într-un număr de:

$$N = 2^8 - 1 = 255 \quad 2.44$$

trepte egale, având fiecare valoarea absolută:

$$U_i = \frac{10}{255} = 39 \text{ mV} \quad 2.45$$

Întrucât conform [2.10], [2.11], [2.12], [2.13] comparatoarele C2/5 și C3/5 comută la saturație la variații ale tensiunii de intrare:

$$\Delta U \geq 3 \text{ mV} \quad 2.46$$

iar tensiunea de offset maximă este:

$$U_{off} = 5 \text{ mV} \quad 2.47$$

și având în vedere amplificarea unitară a amplificatorului

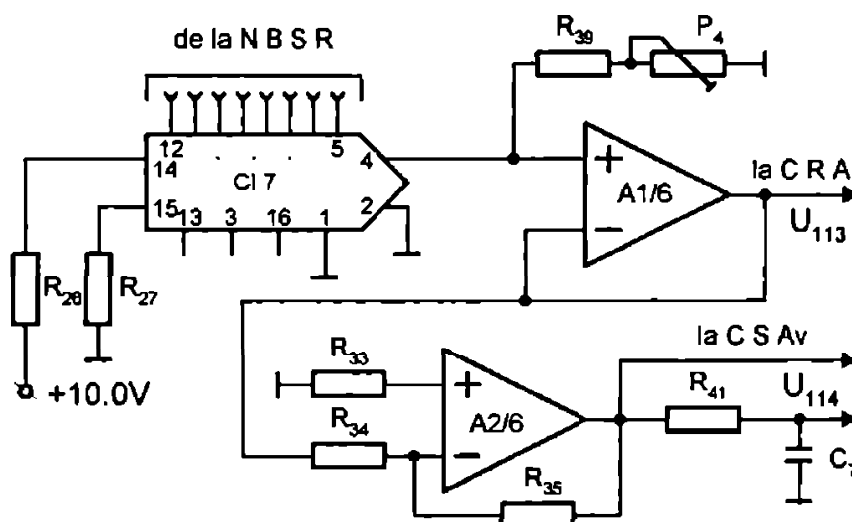


fig. 2.24

sumator, rezultă că comparatoarele menționate sesizează abateri ale tensiunii U'_{107} mult mai mici decât U_t . Corelând cele de mai sus și cele prezentate în [2.13] și [2.14] cu construcția specifică a compensatorului automat rezultă că abateră maximă posibilă a tensiunii U'_{107} va fi:

$$\Delta U'_{107, \max} = 2 \cdot U_i + \Delta U + U_{off} = 86 \text{ mV} \quad 2.48$$

Această valoare, împărțită la valoarea absolută maximă (10V) ne dă eroarea raportată maximă cu care se realizează compensarea în cazul cel mai defavorabil:

$$e_r = \frac{\Delta U'_{107, \max}}{10} \cdot 100 = 0,86 \% \quad 2.49$$

valoare absolut suficientă pentru necesitățile comenzilor adaptive și a sistemelor de protecție a sculelor care se realizează utilizând acest modul. Cu ajutorul amplificatorului inversor realizat cu secțiunea A2/6 a circuitului integrat CI₆-βM324, având amplificarea de tensiune:

$$A_U = -1, \quad 2.50$$

avem disponibilă la bornele modulului o tensiune proporțională cu puterea electrică consumată în gol, utilizabilă în alte aplicații ce nu fac obiectul prezentării de față.

2.3.3 Testarea modulului

Așa cum se cunoaște halele de producție în care se amplasează mașinile-unelte "oferă" condiții vitrege de efectuare a testărilor și măsurărilor asupra circuitelor și modulelor utilizate în comanda mașinilor-unelte. De asemenea în practica conceperii și realizării acestora se accentuează tendințele de implementare a unor funcții de autotestare sau/și autodiagnosticare. Pe această linie s-a înscris acțiunea din cadrul tezei îndreptată în sensul dotării modulului cu facilitățile amintite chiar în absența traductoarelor de putere. Astfel cu un număr minim de comutatoare se va asigura testarea funcționării corecte a modulului în cele două situații distincte și anume:

- a. în prezența unui semnal de la traductorul de putere (electromotorul acționării principale în funcțiune).
- b. în absența semnalului de la traductorul de putere (electromotorul acționării principale oprit sau traductorul absent).

Testarea în cazul a. se desfășoară astfel:

1. Apăsând k_4 se aplică o tensiune negativă amplificatorului neinversor rezultând la ieșirea sa o tensiune U_{105} , negativă -măsură a puterii electrice absorbite, pe care compensatorul automat va încerca să o compenseze. Întrucât tocmai din rațiuni de autotestare, este posibilă compensarea tensiunilor U_{105} care îndeplinesc condiția:

$$0 V \leq U_{105} \leq +10,0 V \quad 2.51$$

corespunzător situației reale, compensatorul automat va funcționa în regim de numărare inversă sesizabilă prin aprinderea alternativă a LED-urilor D_{27} "IN" și D_{28} "S". LED-ul D_{25} (-) trebuie să lumineze. Se acționează comutatorul k_2 (butonul SP)

și se așteaptă aproximativ două secunde. Succesiunea aprinderii-stingerii LED-urilor "IN" și "S" și starea LED-ului "-" trebuie să se mențină. Se acționează comutatorul k_5 (butonul T). După aproximativ o secundă LED-urile "IN" și "S" nu mai luminează alternativ, rămânând într-o stare stabilă (aprinsă sau stinsă) LED-ul "(-)" păstrându-și starea. Se eliberează k_2 (butonul SP). Succesiunea aprinderii-stingerii a LED-urilor "IN" și "S" trebuie să se reia. Se eliberează k_4 (butonul NI) și k_5 (butonul T).

2. Se acționează k_3 (butonul ND), aplicându-se amplificatorului inversor o tensiune pozitivă, rezultând la ieșirea sa o tensiune $U_{105} > +10 \text{ V}$ pe care compensatorul automat va încerca să o compenseze fără "succes" întrucât compensarea este posibilă numai pentru tensiuni U_{105} ce îndeplinesc condiția 2.51. Compensatorul automat va funcționa în regim de numărare directă, sesizabilă prin aprinderea alternativă a LED-urilor "IN" și "S". De asemenea LED-ul D_{24} (+) trebuie să lumineze continuu. Se acționează comutatorul k_2 (butonul SP) și se așteaptă câteva secunde. Trebuie să nu se sesizeze nici o modificare față de situația anterioară. Se acționează comutatorul k_5 (butonul T). După o aproximativ o secundă pâlpâirea intermitență a LED-urilor "IN" și "S" trebuie să înceteze ele rămânând fie stinse fie aprinse. LED-ul D_{24} (+) trebuie să lumineze în continuare și se aprinde LED-ul D_{20} (P_0). Se eliberează comutatorul k_2 (butonul SP). Aprinderea intermitentă a LED-urilor "IN" și "S" trebuie să se reia. LED-ul D_{24} (+) trebuie să-și păstreze starea. LED-ul D_{20} (P_0) se va stinge.

În cazul **b** testarea decurge analog, cu aceleași comenzi, efectuate în aceeași ordine, atât doar că în intervalele când k_2 (butonul SP) nu este acționat se va acționa obligatoriu k_1 (butonul AP).

Dacă lucrurile se petrec întocmai celor descrise modulul funcționează corect. Soluționarea eventualelor "abateri" ale funcționării față de cele descrise se face operativ, folosind schema de principiu a modulului și nu face obiectul prezentării de față.

Schema de principiu integrală a modulului descris în acest capitol este prezentată în **Anexa 2a01**.

2.4. Contribuții originale și concluzii parțiale

Modulul prezentat în acest capitol s-a realizat din necesitatea măsurării puterii electrice în așchiere pentru comenzile adaptive care se bazează pe controlul acestui parametru. La modelele experimentale, apoi la prototipuri și la seria zero s-au realizat și utilizat circuite care au constituit "trepte" spre elaborarea acestui modul, care elimină

neajunsurile constatate în timpul exploatării în condiții industriale a primelor modele de comenzi adaptive bazate pe măsurarea puterii electrice în aşchiere. Două dintre ele, poate cele mai deranjante din punctul de vedere al posibilităților consecințe erau:

- necesitatea aplicării unui semnal din exterior la pornirea electromotorului acționării principale
- compensarea manuală a puterii consumate în gol, necesară a se efectua în principiu înaintea fiecărui ciclu de lucru sau fază de aşchiere, operație ce necesită acțiunea operatorului, cu toate erorile și neajunsurile aferente.

Doar în cazul mașinilor de cojit bare efectul unei compensări este mai redus datorită specificului operației.

Raportat la aceste dezavantaje, la elaborarea și aplicarea originală a unor circuite electronice în comanda mașinilor-unelte, contribuțiile obținute prin realizarea și experimentarea acestui modul sunt:

1. Funcționarea corectă a comenzilor adaptive utilizând măsurarea puterii electrice în aşchiere, fără semnalizări false de avarie datorate regimului tranzitoriu de pornire al electromotorului acționării principale.

2. Optimizarea procesului de aşchiere prin eliminarea erorilor de compensare efectuată înaintea pornirii avansului de lucru. Aceasta deși s-a realizat prin introducerea unei temporizări suplimentare determinate experimental pentru un caz tehnologic și o mașină-unelte concretă nu afectează capacitatea de producție, avantaj ce se menține și la alte mașini sau procedee.

3. Înlocuirea compensării manuale a puterii electrice consumate în gol, care trebuie efectuată înaintea pornirii avansului, care este greoaie, lentă, imprecisă și necesită intervenția operatorului cu compensarea automată rapidă și precisă efectuată la începutul fiecărui ciclu de lucru sau fază de aşchiere, operația durând maxim **o secundă**.

4. Proiectarea, realizarea și experimentarea unui compensator automat de opt biți adecvat utilizării în condiții industriale la comanda adaptivă a mașinilor-unelte.

5. Reducerea duratei eventualelor întreruperi datorate defecțiunilor comenzii adaptive, respectiv ale blocului de măsurare a puterii, ca urmare a construcției modulului astfel realizat încât testarea lui să se efectueze fără instrumentație și fără extragerea sau separarea din subsamblul comenzii adaptive. Se menționează că practic defecțiunile comenzii adaptive au fost negliabile. Testarea menționată se efectuează foarte rapid (maxim **un minut**) utilizând în exclusivitate microbutoanele speciale menționate.

Cap.3 Măsurarea forțelor și momentelor la mașini-unelte în condițiile comenzii adaptive

3.1 Stadiul actual al măsurării industriale a forțelor și momentelor la mașini-unelte

Comanda adaptivă presupune măsurarea forțelor de aşchiere sau a momentelor de torsiune ce solicită părțile componente ale mașinilor-unelte în timpul procesului de aşchiere. Principiile și metodele măsurării forțelor și momentelor la prelucrările pe mașini-unelte sunt bine cunoscute și stăpânite. Datorită acestui fapt s-au realizat multe montaje experimentale de laborator performante și fiabile [2.3], [2.4], [3.1], [3.2], [3.6]. Mai puțin numeroase, răspândite și reprezentative sunt realizările industriale /3.5/, /3.9/, /3.10/, /3.11/. Ele implică folosirea unor traductoare utilizabile în acest mediu, (puternic afectat de zgomote și perturbații electrice și mecanice) montate în structura mașinii astfel încât caracteristicile acestuia din urmă să nu fie afectate. Locul traductorului (senzorului) de forță sau moment în structura mașinii-unelte rezultă din figura 3.1.

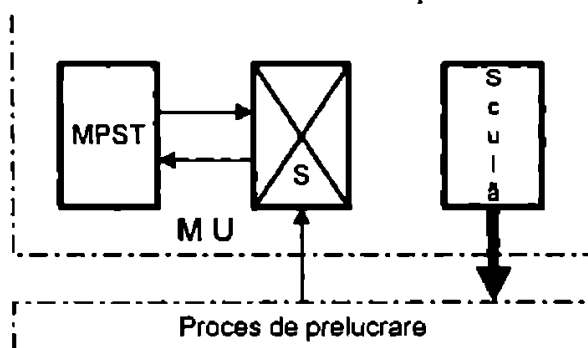


fig.3.1

Corelând această figură cu figura 3.2 ce prezintă locul său în structura comenzii adaptive rezultă condițiile pe care montarea senzorului în structura mașinii-unelte va trebui să le îndeplinească, condiții ce vor rezulta pe măsura expunerii. Una din cele mai severe condiții este cea referitoare

la rigiditatea mașinii-unelte a cărei afectare nu este permisă. Semnificația notațiilor utilizate în cele două figuri este următoarea:

- MPST - modulul pentru prelucrarea semnalului
- S - senzorul
- MU - mașina-unealtă
- GMR - generatorul mărimii de referință
- CS - circuitul pentru implementarea strategiei
- CEE - circuitele și elementele de execuție
- MU* - mașina-unealtă ce nu include sistemul de comandă adaptivă
- SCA - sistemul de comandă adaptivă

În prezenta lucrare se utilizează distinct noțiunile de traductor și senzor conform denumirilor agreeate de proiectanții și realizatorii de sisteme de comandă adaptivă și de protecție a sculelor. În accepțiunea utilizată de literatura de specialitate ce tratează această problemă, [3.6],

[3.7], [3.8], /3.9/, /3.10/, /3.11/, /3.13/, [19], /21/, [22], /23/, /24/, **senzorul** este format din mai multe elemente traductoare plasate într-o montură adecvată fiind inclus ca entitate individualizată în structura mașinii-unelte. Așa cum va rezulta și pentru cazul particular al măsurării forțelor și momentelor din punct de vedere electric senzorul se reflectă spre blocul (modulul) electronic de prelucrare ca o punte sau semipunte alimentată în curent alternativ. Din literatura de specialitate [3.1], [3.2], [3.3], [3.4], [3.6], [3.7], [3.8] se cunosc mai multe tipuri de traductoare pentru forțe și momente de torsiune utilizabile la mașini-unelte,

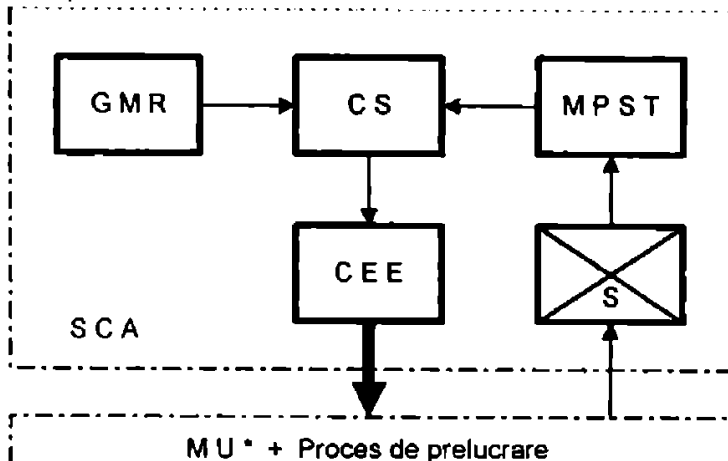


fig.3.2

dintre care se menționează ca utilizabile cele tensorezistive, inductive (pe bază de întrefier), capacitive cu suprafețe constante, piezoelectrice, piezorezistive, magnetoelastice.

Dintre acestea primele trei măsoară în ultimă instanță deformații, deci tocmai mărimi care nu trebuie să existe la mașini-

unelte. Prin urmare utilizarea lor nu constituie o soluție corespunzătoare și acceptabilă. Semnalele furnizate de traductoarele piezoelectrice nu sunt o măsură a deformației, ci a solicitării aplicate și din acest punct de vedere utilizarea lor ar părea avantajoasă. Ele au însă câteva dezavantaje majore și anume:

- sunt foarte fragile
- se pot folosi doar la măsurarea solicitărilor dinamice, măsurarea celor statice fiind afectată de erori mari, chiar în condițiile utilizării unor amplificatoare de sarcină, greu de realizat sau de procurat.

Traductoarele piezoelectrice au cunoscut o largă răspândire după succesul programului Apollo, fiind utilizate pe scară largă la măsurarea presiunilor. Se cunosc și aplicații de măsurare a forțelor și momentelor dar puține și doar în cazurile când nu există pericolul șocurilor mecanice, sau al variațiilor mai însemnate de temperatură, ele fiind fragile și sensibile la modificarea acestora.

Traductoarele magnetoelastice utilizează efectul Villari longitudinal constând în modificarea structurii magnetice a materialului elementului solicitat pe direcția de aplicare a câmpului magnetic, manifestată, la nivel microscopic prin variația permeabilității acestuia, conform relației:

$$\mu = \mu_0(1 + \chi) \quad 3.1$$

unde:

$$\chi = \frac{J}{H} \text{ - susceptivitatea magnetică a materialului}$$

Astfel, dat fiind un element sensibil de tip coloană ca în figura 3.3, conform lucrării [3.19] variația raportată a permeabilității este:

$$\frac{\Delta\mu}{\mu} = \frac{2 \cdot \lambda_s}{B_s^2} \cdot \mu \cdot \sigma \quad 3.2$$

unde:

B_s - inducția la saturație

λ_s - magnetostricțiunea la saturație

σ - efortul unitar aplicat pe direcția câmpului magnetic exterior

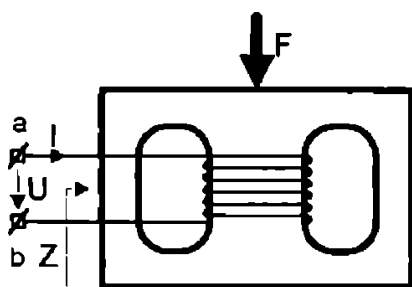


fig.3.3

Prin măsurări efectuate pe loturi mari de diverse traducătoare realizate de Colectivul de Cercetări și Proiectări al Institutului de Cercetări și Proiectări al Școlii Politehnice din București, s-a constatat că permeabilitatea materialului magnetic scade cu creșterea solicitării, fapt sesizabil și prin scăderea impedanței măsurate între bornele a, b în condițiile în care deformația pe direcția solicitării la soluția constructivă adoptată este total neglijabilă ($< 1 \mu\text{m}$). Așa cum rezultă din sintetizarea acestor măsurări efectuate pe tipuri variate de asemenea elemente sensibile, variația impedanței lor $-\Delta Z$ este proporțională cu solicitarea aplicată, motiv pentru care, montate într-o structură adecvată -**senzorul**- pot fi utilizate la măsurarea solicitărilor care li se aplică.

Variația impedanței unui element sensibil magnetoelastic cu solicitarea, determinată experimental cu ocazia lucrărilor

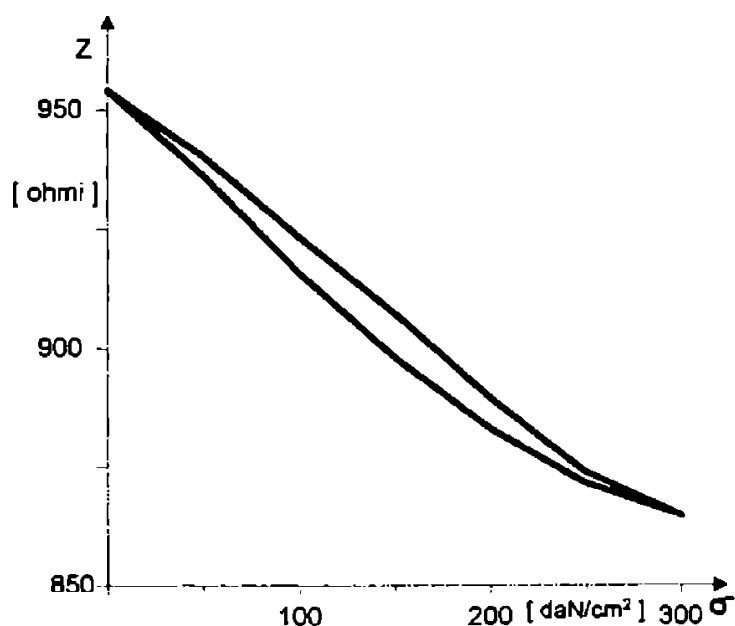


fig.3.4

din cadrul cercetării contractuale /3.9/, /3.10/, /3.11/, /3.13/, /3.18/, /3.21/ și altele, este de forma prezentată în figura 3.4. Această formă de variație, caracterizată prin existența histerezei, constituie un dezavantaj al acestor tipuri de traductoare. Din păcate literatura de specialitate nu oferă date prea concrete asupra metodelor și mijloacelor de micșorare a histerezei. Ceea ce se știe din literatură și s-a confirmat și experimental, [3.8], /3.9/, /3.10/ /3.13/, este că utilizarea traductoarelor în zona variațiilor mici ale solicitărilor (sub o prestângere controlată efectuată la montarea în structura mașinii-unelte) contribuie la îngustarea semnificativă a curbei de histereză ca în cazul ilustrat în figura 3.5.

De asemenea experiența Colectivului disciplinelor de mașini-unelte a demonstrat că un rol important în îngustarea

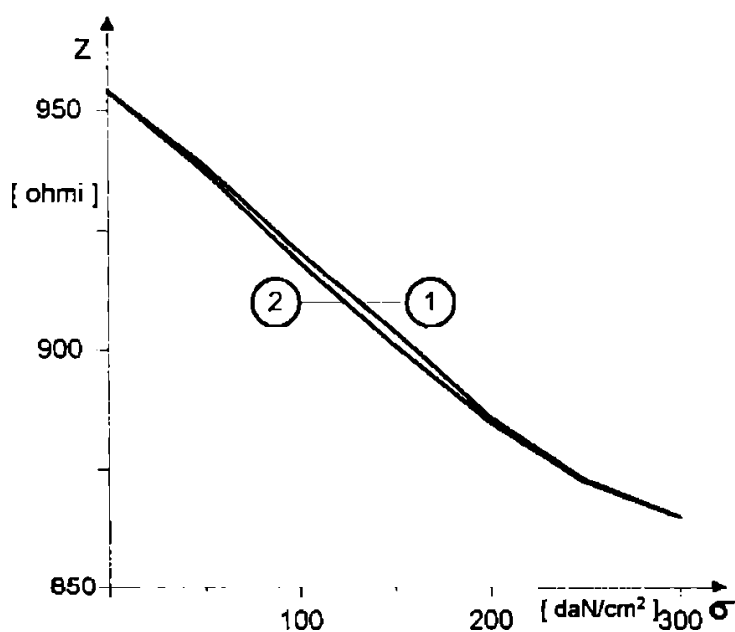


fig.3.5

curbei îl are stabilizarea proprietăților mecano-magnetice printr-un ciclu de solicitări alter-nante la compresie-destindere, procedeu cunoscut în literatura de specialitate sub numele de "antrenare".

La punerea în valoare a caracteristicilor favorabile ale traductoarelor și senzorilor un rol esențial revine și blocului electronic de prelucrare a semnalului

care prin anumite artificii va face ca în fiecare ciclu de prelucrare măsurările să se reia pe curba 1.

Se consideră o punte de măsurare completă și o semi-punte, prezentate în figura 3.6, alimentate în curent alter-

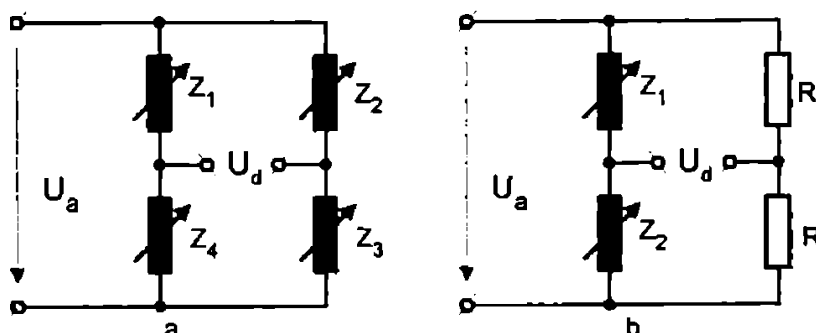


fig.3.6

nativ. Prin construcția și montajul concret al senzorului pe mașina-unealtă se asigură întotdeauna ca traductoarele plasate în brațe opuse ale punții să fie supuse la același tip de solicitare. Astfel în cazul punții complete (a) dacă traductoarele reprezentate prin impedanțele lor Z_1 și Z_3 sunt solicitate la compresiune, atunci Z_2 și Z_4 vor fi "solicitate" la destindere sau/și invers. În cazul semipunții traductoarele plasate în brațe alăturate vor fi supuse la solicitări antagonice (destindere - compresiune).

Pentru proiectarea circuitelor modulului este necesară determinarea variației tensiunii din diagonala punții cu traductoare, punând în evidență factorii ce o determină și contribuția fiecăruia. Cazul mai general este cel al punții complete (a), impedanțele traductorului modificându-se în urma solicitării conform relațiilor:

$$\begin{aligned} Z'_1 &= Z_1 - \Delta Z_1 \\ Z'_2 &= Z_2 - \Delta Z_2 \\ Z'_3 &= Z_3 - \Delta Z_3 \\ Z'_4 &= Z_4 - \Delta Z_4 \end{aligned} \quad 3.3$$

În această situație se știe că variația tensiunii din diagonala punții este de forma:

$$\Delta U_d = \frac{U_a}{(Z_2 + Z_3 + \Delta Z_2 - \Delta Z_3) \cdot (Z_1 + Z_4 + \Delta Z_4 - \Delta Z_1)} \cdot [Z_2 Z_4 - Z_1 Z_3 - Z_2(\Delta Z_1 - \Delta Z_4) + Z_1 \Delta Z_3 + Z_2 \Delta Z_1 + Z_3 \Delta Z_1 + Z_4 \Delta Z_2] \quad 3.4$$

Admițând, pentru simplitate, că în lipsa solicitării impedanțele punții sunt egale și puntea la echilibru, adică:

$$\begin{aligned} Z_1 &= Z_2 = Z_3 = Z_4 = Z \\ Z_1 \cdot Z_3 &= Z_2 \cdot Z_4 \end{aligned} \quad 3.5$$

și că variațiile impedanțelor, determinate de solicitare sunt egale, adică:

$$|\Delta Z_1| = |\Delta Z_2| = |\Delta Z_3| = |\Delta Z_4| = |\Delta Z|$$

rezultă:

$$\Delta U_d \cong U_a \cdot \frac{\Delta Z}{Z} \quad 3.6$$

Deci variația tensiunii din diagonala punții este proporțională, prin ΔZ , cu solicitarea aplicată. În aceleași condiții variația tensiunii în diagonala semipunții este:

$$\Delta U_d = \frac{U_a}{2} \cdot \frac{\Delta Z}{Z} \quad 3.7$$

Așadar, în condițiile unei aceleiași solicitări, care determină o aceeași variație ΔZ , utilizarea punții complete este mai avantajoasă datorită tensiunii rezultante duble în diagonală. Utilizarea punții complete are și alte avantaje dintre care cea mai importantă este aceea că variațiile impedanțelor în același sens, (determinate de solicitări mecanice parazite, modificarea temperaturii elementelor traductoare, ș.a.) se regăsesc în măsură foarte mică în modificarea tensiunii U_d . Din motivele mai sus enumerate literatura recomandă utilizarea punții complete. Avantajele traductoarelor magnetoelastice, constând în rigiditatea mare, cea ce face ca la montaje bine elaborate rigiditatea mașinii-unealte să rămână practic neschimbată, [3.4], /3.5/, sensibilitatea bună [3.7], [3.8] și capacitatea sporită de-a prelua suprasarcini și șocuri accidentale (pâna la de **10 ori** sarcina nominală) [3.4], /3.5/, /3.10/, au determinat utilizarea cu precădere de către colectivul de mașini-unelte din Catedra TCM a acestui tip de traductor la realizarea senzorilor pentru măsurarea forțelor și momentelor în sistemelor de comandă adaptivă, de protecție a sculelor și altele. La momentul elaborării prezentului capitol acest colectiv de cercetare-proiectare era singurul din țară care realiza sisteme de măsurare a forțelor și momentelor, în condiții industriale, pentru variate tipuri de mașini-unelte. Referințele bibliografice prezintă gama largă și diversitatea sistemelor de comandă adaptivă, de protecție a sculelor realizate de colectivul menționat și echipate cu diferite variante mai puțin perfecționate ale modului electronic ce va fi descris pe larg în paragrafele următoare.

Pentru realizarea acestuia a fost necesară efectuarea unor cercetări asupra caracteristicilor electrice ale traductoarelor și senzorilor magnetoelastici precum și asupra modului în care acestea variază la solicitări utile și parazite, inclusiv la modificarea condițiilor de mediu.

3.2 Caracteristici electrice ale senzorilor (traductoarelor) magnetoelastici

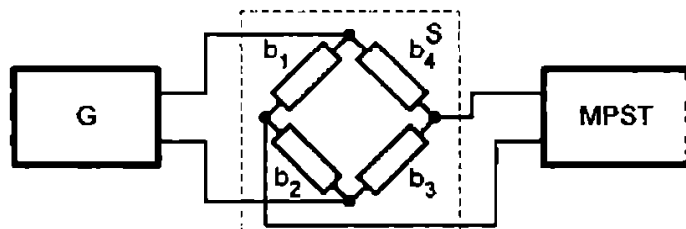
Comportarea remarcabilă a senzorilor realizați cu elemente traductoare magnetoelastice a determinat îndreptarea preocupărilor autorului prezentei lucrări și în direcția realizării unor blocuri electronice evaluate în vederea obți-

nerii de sisteme de măsurare a forței sau/și momentului, de protecție a sculelor sau de comandă adaptivă performante. Un prim pas a constat în determinarea câtorva caracteristici electrice ale senzorilor compuși din traductoare magnetoelastice. Așa cum a rezultat în urma experimentărilor /3.9/, /3.13/, /3.18/, /3.21/, concluziile enunțate sunt aplicabile și pentru alte tipuri de traductoare inductive. Una din primele concluzii ale experimentelor amintite este că din punctul de vedere al măsurării forțelor sau/și momentelor cele mai importante și relevante caracteristici sunt:

1. **Impedanța** unui traductor respectiv a senzorului obținut (electric) prin conectarea mai multor traductoare în punte sau semipunte.
2. **Sensibilitatea electrică relativă** a unui traductor din compunerea senzorului, definită conform relației:

$$S_e = \frac{\frac{\Delta Z}{Z}}{\Delta S} \quad 3.8$$

3. **Deriva cu temperatura** a tensiunii furnizate de senzorul conectat în sistemul de măsurare, așa cum se prezintă în figura 3.7.



G - generatorul pentru alimentarea punții cu traductoare
 MPST - modulul pentru prelucrarea semnalului de la senzor

fig 3.7

Așa cum va rezulta din cele expuse în continuare fiecare braț al punții de măsurare poate fi constituit din unul sau mai multe traductoare magnetoelastice conform necesităților rezultate din considerente mecanice determinate de specificul cazului tehnologic concret și anume:

- tipul de mașină-unealtă
- operația ce se efectuează
- mărimea măsurată (forță sau moment de torsiune)

Din acest motiv în prezenta lucrare nu se prezintă și nu se fac referiri la construcția mecanică a senzorului. Această problemă a fost tratată în numeroase lucrări enumerate în bibliografie și având ca autori cadre didactice și cercetători de prestigiu de la disciplinele de mașini-unelte.

1. Impedanța traductorului (și a senzorului)

este o caracteristică importantă atât din punctul de vedere al proiectării generatorului pentru alimentarea punții(lor), știut fiind faptul că caracteristicile traductoarelor magne-

toelastice sunt puternic influențate de amplitudinea și variațiile tensiunii de alimentare [3.8] cât și din cel al proiectării și realizării circuitelor de intrare ale modulului de prelucrare. Se va impune deci generatorului furnizarea unei tensiuni cu amplitudine constantă, stabilizată și reglabilă, pentru ca, așa cum va rezulta din cele ce urmează, orice configurație de punte să poată fi alimentată la tensiunea optimă. Din măsurările efectuate la frecvența de lucru (**5KHz**) și la valorile efective recomandate de literatură [3.4], /3.5/, [3.7], proiectanți și realizatori, în urma testelor efectuate pe un număr mare de traductoare și senzori au rezultat valorile la care parametrii electro-funcționali, dinamica și stabilitatea comportamentală în timp sunt optime:

a. $Z=620 \Omega$ la $U_{ef}=2 V$ - pentru traductoarele de uz general destinate senzorilor pentru forțe mici

b. $Z=755 \Omega$ la $U_{ef}=3 V$ - pentru traductoarele de uz general destinate senzorilor pentru forțe medii

c. $Z=690 \Omega$ la $U_{ef}=2,5 V$ - pentru traductoarele din compunerea senzorului implementat în GMP 4x63 NC

d. $Z=807 \Omega$ la $U_{ef}=3 V$ - pentru traductoarele din compunerea senzorului realizat pentru echiparea centrelor de prelucrare verticale

e. $Z=517 \Omega$ la $U_{ef}=2,7 V$ - pentru traductoarele din compunerea senzorului realizat pentru echiparea centrelor de prelucrare orizontale din celule și linii flexibile

f. $Z=675 \Omega$ la $U_{ef}=3,25 V$ - pentru traductoarele de uz general destinate senzorilor pentru forțe mari

Intrucât în cazul a. puntea de măsurare conține doar câte un traductor în fiecare braț, puterea consumată de punte este :

$$P_a = 0,0258 W \quad 3.9$$

În cazul b. se utilizează de regulă trei traductoare în fiecare braț al punții, deci puterea consumată de punte este:

$$P_b = 0,143 W \quad 3.10$$

În cazul c. se utilizează pentru realizarea punții două inele traductoare, fiecare conținând două brațe supuse la același tip de solicitare, deci puterea consumată de punte este :

$$P_c = 0,108 W \quad 3.11$$

Analog, în cazul d. puterea consumată de punte va fi:

$$P_d = 0,134 \text{ W} \quad 3.12$$

În cazul e. destul de complex din punctul de vedere al gamei extinse a valorilor solicitărilor, fiecare braț al punții senzorului având trei traductoare, puterea consumată de punte va fi:

$$P_e = 0,17 \text{ W} \quad 3.13$$

Traductoarele pentru forțe mari la care se face referire în cazul f. se utilizează cu predilecție în punți cu un traductor într-un braț, prin urmare puterea consumată în acest caz este:

$$P_f = 0,063 \text{ W} \quad 3.14$$

Tinând cont că în anumite situații concrete mașina-unealtă are mai multe unități de lucru echipate cu senzori magnetoelastici, generatorul ce alimentează punțile va trebui să asigure puterea necesară pentru alimentarea tuturor acestora. Generatorul de 5 KHz din componența modulului sursă-generator **MSG-2001-K** elaborat de autor pentru alimentarea sistemelor de măsurare a forțelor și momentelor este capabil să alimenteze cinci punți de măsurare, putând debita o putere totală :

$$P_i = 1,2 \text{ W} \quad 3.15$$

acoperitoare pentru toate tipurile de traductoare și senzori utilizați până în prezent și preconizate a se utiliza în viitorul pertinent anticipabil. Prezentarea construcției modulului sursă-generator nu face obiectul prezentei lucrări.

2.Sensibilitatea electrică relativă

definită de relația 3.8 este din punctul de vedere al proiectantului blocului de prelucrare deosebit de important. Aceasta întrucât, tensiunea de ieșire a blocului electronic se poate scrie sub forma generală:

$$U_e = A \cdot \Delta U_d \quad 3.16$$

dar:

$$\Delta U_d = U_a \cdot \frac{\Delta Z}{Z} \quad \text{și} \quad S_e = \frac{\frac{\Delta Z}{Z}}{\frac{\Delta F}{S}} = \frac{\Delta Z \cdot S}{Z \cdot \Delta F} \quad 3.17$$

rezultă:

$$U_e = A \cdot U_a \cdot S_e \cdot \frac{\Delta F}{S} \quad 3.18$$

Deci cu cât sensibilitatea electrică relativă este mai bună (mare) cu atât amplificarea necesară va fi mai mică și prelucrarea în continuare mai facilă.

În relația 3.18 **A** este coeficientul de amplificare globală al blocului (modulului) electronic (exprimat în V / V_{ef}), iar **S** este suprafața activă a traductorului dintr-un braț al punții de măsurare cu care este echivalat din punct de vedere electric senzorul supus solicitării.

Tabelul 3.1

Tip trad	Forțe mici	Forțe medii	Inel tr. GMP 4x63NC	Inel tr. cel.flex.	Forțe mari	Unit.de măsură
S_e	$8,2 \times 10^{-4}$	$5,62 \times 10^{-4}$	$3,48 \times 10^{-4}$	$3,24 \times 10^{-4}$	$3,8 \times 10^{-4}$	cm^2/daN

Cu titlu informativ, în tabelul 3.1 se prezintă valorile S_e pentru traductoarele menționate la punctele a.e., valori ce au fost și sunt utilizate în calculele prealabile pentru elaborarea blocurilor (modulelor) electronice de prelucrare.

3. Deriva termică raportată

este o mărime cea fost definită și utilizată pentru caracterizarea cantitativă a derivatei cu temperatura, astfel:

$$D_T = \frac{\frac{\Delta U_d}{U_d}}{\Delta T} = \frac{\Delta Z}{Z \cdot \Delta T} \quad 3.19$$

ΔU_d și ΔZ fiind determinate exclusiv de solicitările generate de deformațiile termice ale mașinii.

Intrucât traductoarele montate pe mașina-unealtă funcționează în interiorul intervalului de temperatură determinat de limitele :

$$T_{\min} = 283 \text{ K} ; T_{\max} = 323 \text{ K} \quad 3.20$$

impuse de standardele în vigoare, măsurările s-au efectuat în acest interval. Rezultatele lor se prezintă în tabelul 3.2.

Conform relației 3.4, pentru punți neechilibrate, supuse solicitării, variația tensiunii din diagonală este:

$$\Delta U_d = U_a \cdot \frac{\Delta Z}{Z} \quad 3.21$$

O aceeași variație poate fi produsă în urma derivatei determinate de modificarea temperaturii, conform definiției 3.19:

$$\Delta U_d = D_T \cdot U_a \cdot \Delta T \quad 3.22$$

adică:

$$U_a \cdot \frac{\Delta Z}{Z} = U_a \cdot D_T \cdot \Delta T \quad \text{sau}$$

$$S_e \cdot \frac{\Delta F}{S} = D_T \cdot \Delta T$$

$$k_T = \frac{\Delta T}{\Delta F} = \frac{S_e}{S \cdot D_T} \quad 3.23$$

Tabelul 3.2

Tip trad	Forțe mici	Forțe medii	Inel tr. GMP 4x63NC	Inel tr. cel.flex.	Forțe mari	Unit.de măsură
D_T	$0,61 \times 10^{-4}$	$0,48 \times 10^{-4}$	$0,55 \times 10^{-4}$	$0,52 \times 10^{-4}$	$0,35 \times 10^{-4}$	K^{-1}

Rezultă că efectele determinate respectiv de solici-tarea parazită determinată de variația temperaturii și cea utilă, supusă măsurării, se află în raportul dat de relația 3.23. Pentru ca efectul variației temperaturii să fie minim se impune o astfel de realizare a traductoarelor ca S_e să fie cât mai mare iar D_T cât mai mic. Deși măsurătorile efectuate cu ocazia verificării senzorilor realizați și a traductoarelor componente pentru diverși beneficiari au confirmat ipoteza conform căreia efectul variațiilor temperaturii nu este prea puternic se impune ca necesară și din acest punct de vedere compensarea automată a tensiunii din diagonala punții, conform considerentelor deja enumerate și a celor ce vor fi prezentate în paragrafele următoare.

3.3 Modalități de prelucrare a semnalului din puntea senzorului magnetoelastic

Traductoarele magnetoelastice prezintă o impedanță puternic inductivă, ceea ce determină necesitatea alimentării în curent alternativ a senzorilor construiți cu ei. În sistemele industriale de măsurare cu traductoare (inductive, rezistive, etc.) se folosește cu precădere tensiunea sinusoidală cu frecvența de **5kHz**, [3.2], [3.15], [5.5]. Și în sistemele de măsurare a forței și momentului elaborate în cadrul Colectivului de mașini-unelte se folosește pentru alimentarea punților senzorilor magnetoelastici tensiunea sinusoidală cu frecvența de **5kHz**, cu amplitudinea controlată și reglabilă funcție de tipul senzorului utilizat. Se consideră puntea completă din figura 3.5 a. Constructiv, la realizare, se asigură:

$$R_1 = R_2 = R_3 = R_4 = R \quad 3.24$$

Impedanța unui traductor (sau element traductor) fiind:

$$Z_i = R_i + j\omega L_i, \quad 3.25$$

tensiunea în diagonala punții este:

$$U_d = \left[\frac{R + j\omega L_4}{2R + j\omega(L_3 + L_4)} - \frac{R + j\omega L_1}{2R + j\omega(L_1 + L_2)} \right] \cdot U_a =$$

$$= \frac{\omega^2 (L_1 \cdot L_3 - L_2 L_4) + j\omega R (L_2 + L_4 - L_1 - L_3)}{4R^2 - \omega^2 (L_1 + L_2)(L_3 + L_4) + j\omega 2R(L_1 + L_2 + L_3 + L_4)} \cdot U_a \quad 3.26$$

Relația de mai sus pune în evidență faptul că la modificarea inductivităților L_1 , L_2 , L_3 și L_4 variază atât amplitudinea, cât și faza tensiunii U_d , situație ilustrată și de diagrama fazorială din figura 3.8.

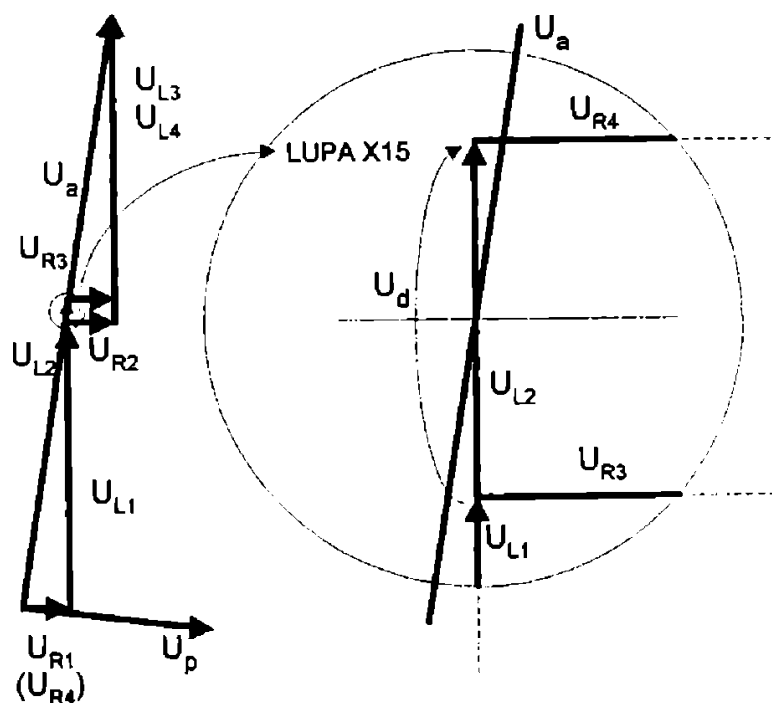


fig.3.8

Înseamnă că prelucrarea semnalului din diagonala punții cu traductoare se poate efectua prin:

- deteție de anvelopă
- deteție sincronă (sensibilă la fază)

Întrucât s-au proiectat, executat și experimentat **în și pentru** condiții industriale ambele tipuri de circuite de prelucrare, /3.9/, /3.10/, /3.13/, se poate aprecia că ambele

metode prezintă conform /3.18/ atât avantaje cât și dezavantaje.

Astfel:

a. *deteția de anvelopă* are avantajele:

- circuitele sunt simple
- variația tensiunii U_d cu solicitarea este relativ mare nefiind necesare în continuare amplificări mari și dificil de realizat, menținut și controlat.

- asigură utilizarea eficientă a traductorului în întreaga gamă de solicitări admisă din considerente de rezistență mecanică.

Ea are însă și numeroase dezavantaje cum sunt:

- este mai afectată de zgomote și perturbații decât cea sincronă.

- este pretențioasă din punctul de vedere al alegerii punctului de funcționare static (PFS) pe caracteristica:

$$U_d = f(F) \quad (a)$$

prezentată în figura 3.9.

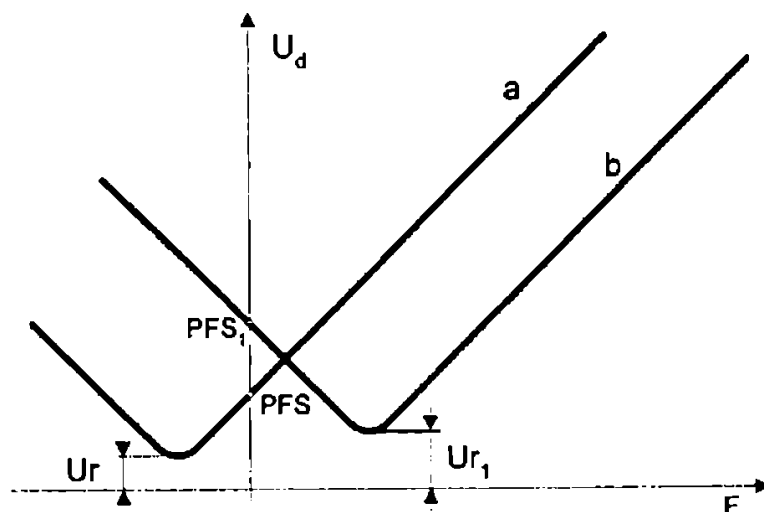


fig.3.9

Pentru a face referiri la punctul de funcționare static (denumirea și inițialele utilizate aparțin autorului) este necesar să se precizeze că nu se pot realiza punți perfect echilibrate ($U_d=0$), trebuind căutate metode și mijloace de-a evita (sau folosi dacă e posibil) neajunsurile existenței unei tensiuni remanente în diagonala punții cu traductoare. Acest punct corespunde valorii U_d pentru solicitare nulă. Caracteristica dependenței $U_d = f(F)$ poate fi deplasată în planul determinat de axele de coordonate modificând astfel poziția punctului. Această deplasare a caracteristicii poate fi realizată voluntar, controlat, prin construcție și reglaje la montaj, dar apare și în cursul exploatării uneori fără a fi posibilă readucerea caracteristicii deplasate (b) în pozi-

ția inițială (a), (absolut necesară întrucât în cazul (b), funcția: $U_d = f(F)$ nu este univocă). În situația din urmă este necesară o intervenție mecanică relativ incomodă, adesea laborioasă și de lungă durată (ex. schimbarea între ele a inelelor componente ale senzorului la mașina de găurit GMP4X63NC durează aproximativ **15 ore-om**). Această situație poate să apară datorită modificării stării micromecanice a elementelor traductoare supuse în exploatarea mașinii-unele la unele schimbări ce nu pot fi controlate. De aceea este conciliabilă reajustarea reglajelor punții după o scurtă perioadă de funcționare efectivă în care starea fizico-mecanică a suprafețelor îmbinate se stabilizează într-o măsură suficientă.

b. detecția sincronă are următoarele avantaje:

- este mult mai puțin afectată de perturbațiile din mediul în care lucrează mașina-unealtă.
- defazajul tensiunii din diagonală, față de cea de alimentare, variază continuu și univoc, în jurul punctului de funcționare static, după una și numai una din curbele a sau

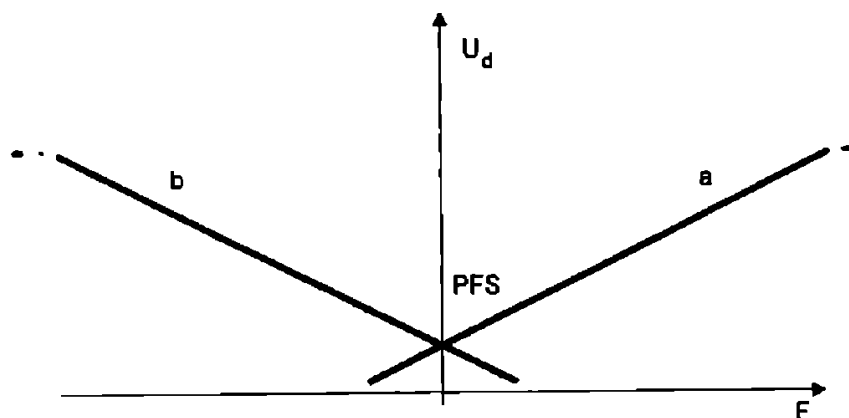


fig.3.10

b, așa cum se observă calitativ în figura 3.10.

Ea are însă și câteva dezavantaje și anume:

- variația defazajului este liniară numai pentru solicitări relativ mici ale traductoarelor magnetoelastice. Din această constatare experimentală rezultă imposibilitatea utilizării traductoarelor în întreaga gamă a solicitărilor mecanic admise. Acest dezavantaj există numai în foarte mică măsură în cazul detecției de anvelopă. Deși în unele cazuri este deranjant pentru sistemele de măsurare a forțelor și momentelor el poate fi exploatat în anumite cazuri de realizare a sistemelor de comandă adaptivă sau de protecție a sculelor.
- pentru aceeași solicitare, variația tensiunii la ieșirea detectorului este mai mică decât în cazul detecției de anvelopă.

Prin urmare se pun în balanță relativa simplitate electronică asociată cu dificultăți mecanice pe de o parte și

relativa complexitate electronică asociată cu simplitatea mecanică și siguranța că nicidecum nu vor fi necesare intervenții mecanice mai incomode. Concluzia autorului, bazată pe experiența dobândită la punerea în funcțiune a unui număr însemnat de sisteme de comandă adaptivă și de protecție a sculelor pentru mașini-unelte, este că nu poate exista o opțiune fermă, univocă, infailibilă și generală, fiecare caz trebuind să fie judecat concret. Dacă însă se permite o părere cu oarecare încărcătură subiectivă atunci optez pentru eleganța și siguranța detecției sensibile la fază.

3.4 Modul pentru prelucrarea semnalului de la senzori cu traductoare inductive

3.4.1. Elaborarea structurii modulului

Din cele expuse în paragraful precedent și din experiența autorului a rezultat ca utilă dezvoltarea câte unui modul care să asigure prelucrarea semnalului furnizat de senzorii pentru forță sau moment realizați cu traductoare magnetoelastice. Structura unui astfel de modul va fi determinată de:

- forma, mărimea și frecvența semnalului prelevat de la puntea cu traductoare a sensorului
- forma și mărimea semnalului de ieșire pe care trebuie să-l furnizeze
- modul de amplasare a sensorului în structura mașinii-unelte (mod ce asigură o anumită precizie în prelevarea optimă a solicitărilor ce urmează a fi măsurate și rejecția maximă a solicitărilor parazite și a influențelor termice)
- construcția concretă a mașinii-unelte cu implicații dintre cele mai diverse și multiple.

Conform celor de mai sus și celor prezentate în [3.18] structura unui astfel de modul trebuie să fie de forma prezentată în figura 3.11. Semnificația notațiilor este următoarea:

- ED - etajul detector (de anvelopă sau sincron)
- FTJ - filtrul trece jos
- ARP - amplificatorul și redresorul de precizie
- CSAv - circuitul de semnalizare și avarie
- CAM - compensatorul automat
- AP - automatul programabil
- SCA - sistemul de comandă adaptivă

Funcționarea principală a modulului, conform schemei bloc este următoarea:

Etajului detector i se aplică semnalul din diagonala punții sensorului cu traductoare magnetoelastice precum și semnalul de referință a fazei (numai pentru detecție sincronă) furnizat de generatorul ce alimentează puntea (pun-

șile). Acesta furnizează la ieșire o tensiune cu valoarea proporțională cu amplitudinea semnalului din diagonala punții în cazul detecției de amplitudine și cu defazajul dintre aceasta și semnalul de referință a fazei în cazul detecției sensibile la fază. *Filtrul trece jos* care urmează asigură trecerea componentei continue a acestei tensiuni rejectând puternic pulsațiile cu frecvența purtătoare și armonicilor sale.

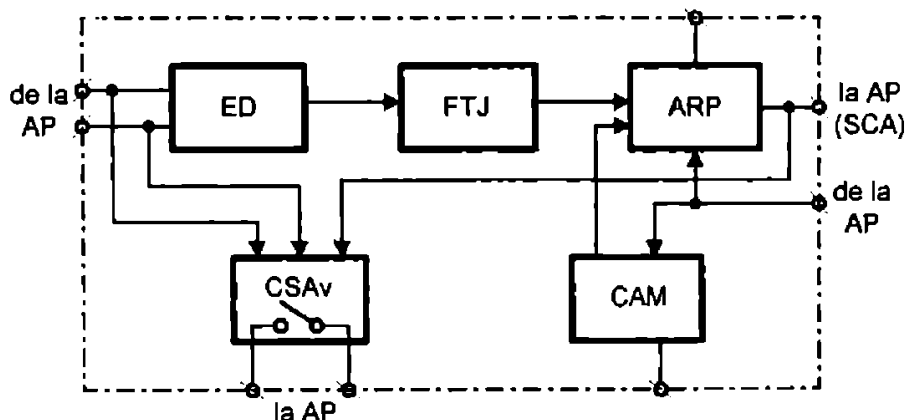


fig.3.11

Tensiunea de ieșire a filtrului trece-jos se aplică *amplificatorului și redresorului de precizie* care asigură:

1. amplificarea necesară pentru ca unei variații maxime a forței ce solicită puntea interconectată cu modulul să-i corespundă o variație de **10V** la ieșirea modulului (gamă de tensiuni impusă de comoditatea, eleganța și precizia prelucrărilor ulterioare pe de-o parte dar și de posibilitățile de interconectare și interoperabilitate cu alte subsisteme ale comenzii mașinii-unelte pe de-altă parte).

2. evoluția tensiunii la ieșirea modulului în gama ($0 \div 10$) V pentru variația forței de la "0" la valoarea maximă și pentru cazul ceva mai rar întâlnit la mașini-unelte când se controlează solicitările în ambele sensuri ale aceleiași direcții bine determinate.

După cum s-a mai arătat în cazul general, chiar în lipsa solicitării în diagonala punții regăsim o tensiune remanentă dată de relația 3.4 și determinată de inegalitatea impedanțelor brațelor punții. Această tensiune nu poate fi anulată prin reglaje mecanice de pretensionare sau electrice de compensare în curent alternativ și este defazată față de tensiunea de alimentare. Tensiunea rezultată în urma detecției în lipsa solicitării punții se va numi componentă reziduală indiferent din ce tip de detecție a rezultat. Pentru a se măsura doar solicitări utile este necesară compensarea acestei componente reziduale, funcție pe care o realizează *compensatorul automat*. *Circuitul de semnalizare și avarie* controlează funcționarea corectă a modulului, corectitudinea conexiunilor cu puntea cu traductoare, asigurând testarea rapidă și urmă-

rirea evoluției mărimii controlate sau supravegheate (forță sau moment de torsiune), semnalizând depășirea unor valori prestabilite ale acesteia.

3.4.2. Etajul detector

După cum s-a precizat, funcție de modul de prelucrare care se dovedește a asigura cele mai multe avantaje într-un anumit caz concret vom utiliza fie un etaj detector de anvelopă, fie un etaj detector sensibil la fază.

a. Detectorul de anvelopă

Din necesitatea asigurării unei cât mai bune precizii a măsurării efectuate în condiții industriale (cel mai adesea foarte severe), precum și a posibilității de utilizare a acestui tip de modul pentru prelucrarea semnalelor furnizate de orice tip de senzor magnetoelastic s-a conceput și realizat un tip mai aparte, specific, de detector de anvelopă prezentat în figura 3.12.

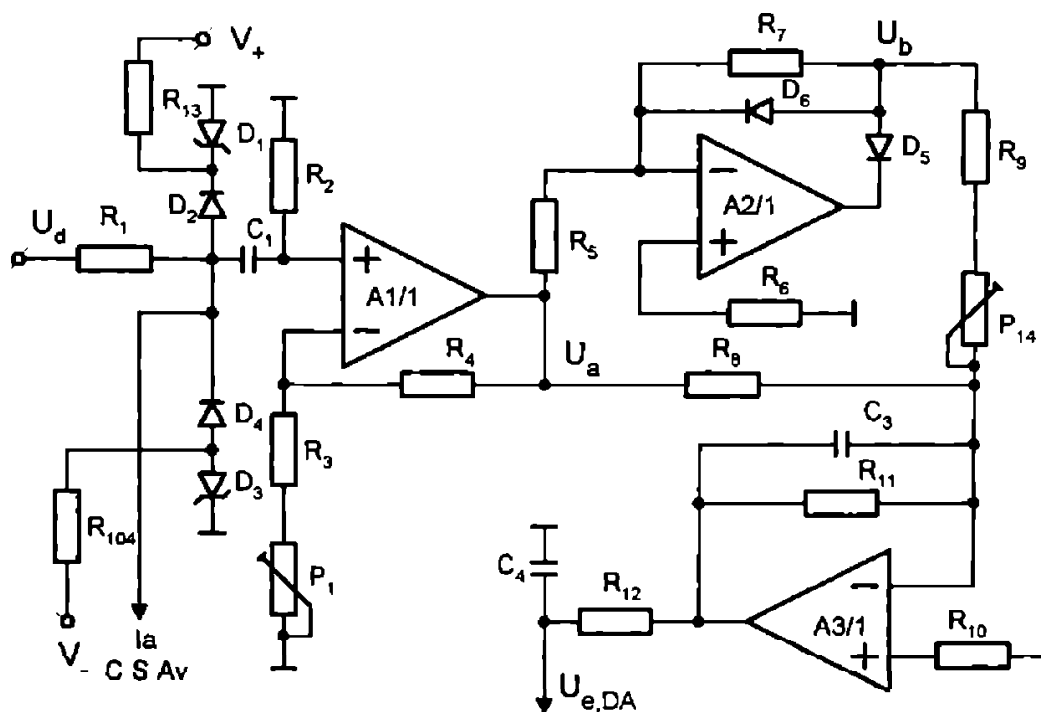


fig.3.12

După cum se observă el este format dintr-un amplificator de intrare realizat cu secțiunea A1/1 a amplificatorului operațional cudruplu integrat CI₁-βM324 și un redresor de precizie bialternanță realizat cu secțiunile A2/1 și A3/1 ale aceluiași amplificator integrat. Amplificatorul de intrare asigură preluarea semnalului din puntea cu traductoare fără a-l șunta (R_1 foarte mare) și o amplificare de tensiune re-

glabilă astfel încât la ieșirea lui să se obțină o tensiune de ordinul a câtorva volți, avantajoasă din punctul de vedere al prelucrărilor ulterioare. Aceste caracteristici sunt impuse pe de-o parte de dispersia proprietăților electrice și mecanice ale traductoarelor inductive din structura senzorului și pe de-altă parte de necesitatea ca puntea să lucreze practic în gol. Această tensiune este redresată bialternanță și filtrată obținându-se tensiunea $U_{e,DA}$, continuă, pozitivă și proporțională cu valoarea tensiunii U_d .

Funcționarea circuitului este ilustrată sintetic de diagramele de semnal din figura 3.13, obținute prin oscilografieri cu ocazia lucrărilor din cadrul contractelor /3.5/, /3.13/.

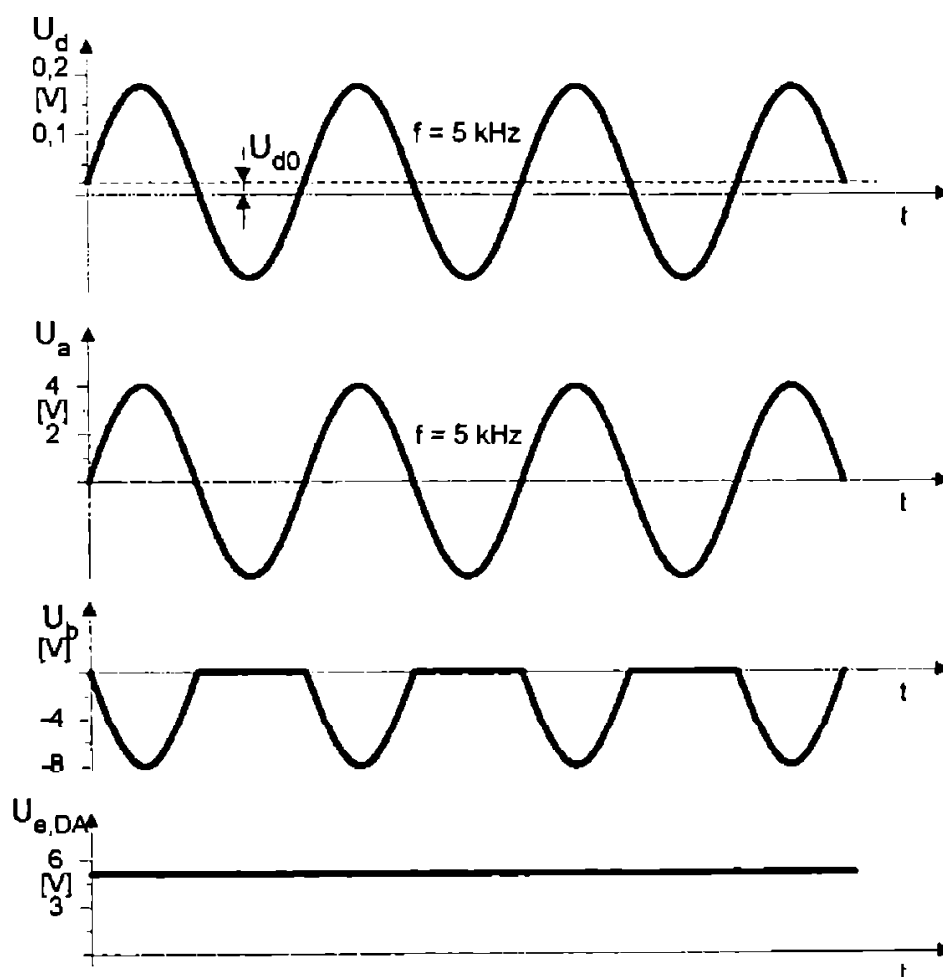


fig.3.13

b. Detectorul sensibil la fază

Din literatura de specialitate se cunosc o multitudine de detectoare sensibile la fază utilizate în circuite de măsurare [3.16], [3.17], /3.18/. Unele din ele conțin elemente componente ce implică multă manoperă, altele conțin circuite dedicate scumpe și greu de procurat. De aceea s-a propus ca

obiectiv realizarea unui detector sensibil la fază simplu, ieftin care să nu necesite reglaje și să funcționeze într-o gamă largă a tensiunilor de intrare. Condiții speciale referitoare la frecvența semnalelor aplicate nu s-au impus, circuitul urmând să funcționeze la frecvența uzuală pentru măsurări de forțe și momente (5 kHz). Detectorul sensibil la fază realizat are schema de principiu din figura 3.14 și folosește ca și component activ comparatorul cuadruplu integrat CI₁-βM339. Singurul element obținut prin relație severă este referința de tensiune D₁₁, selectată astfel încât rezistența dinamică să fie minimă, iar coeficientul de temperatură al tensiunii stabilizate cât mai apropiat de valoarea nulă celelalte fiind componente uzuale.

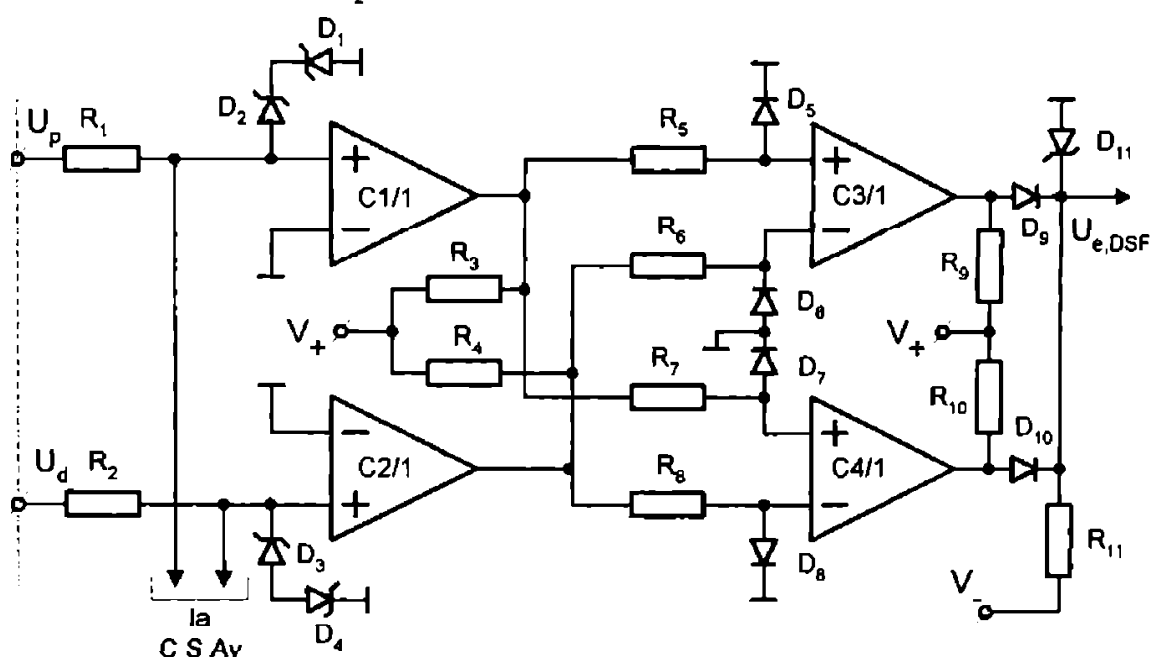


fig.3.14

Funcționarea detectorului sensibil la fază este ilustrată prin diagramele de semnal prezentate în figura 3.15.

U_d este tensiunea culeasă din puntea cu traductoare iar U_p este tensiunea de referință a fazei. Dacă $\Delta\varphi$ este valoarea absolută a defazajului dintre tensiunile U_p și U_d aplicate, valoarea medie a tensiunii la ieșirea sa este:

$$\begin{aligned}
 U_{e,m} &= \frac{1}{T} \cdot \int_0^T U_{e(t)} \cdot dt = \frac{1}{\omega} \cdot \int_0^{2\pi} U_{e(t)} \cdot dt = \\
 &= \frac{\omega}{2\pi} \cdot \left[\int_0^{\Delta\varphi} U_2 \cdot dt + \int_{\frac{\omega}{\Delta\varphi}}^{2\pi} -U_d \cdot dt \right] = \frac{\omega}{2\pi} \cdot \left[U_2 \frac{\Delta\varphi}{\omega} - U_d \frac{2\pi}{\omega} + U_d \frac{\Delta\varphi}{\omega} \right] \quad 3.18
 \end{aligned}$$

adică:

$$U_{e,m} = \frac{\Delta\varphi}{2\pi} \cdot (U_z + U_d) - U_d \quad 3.19$$

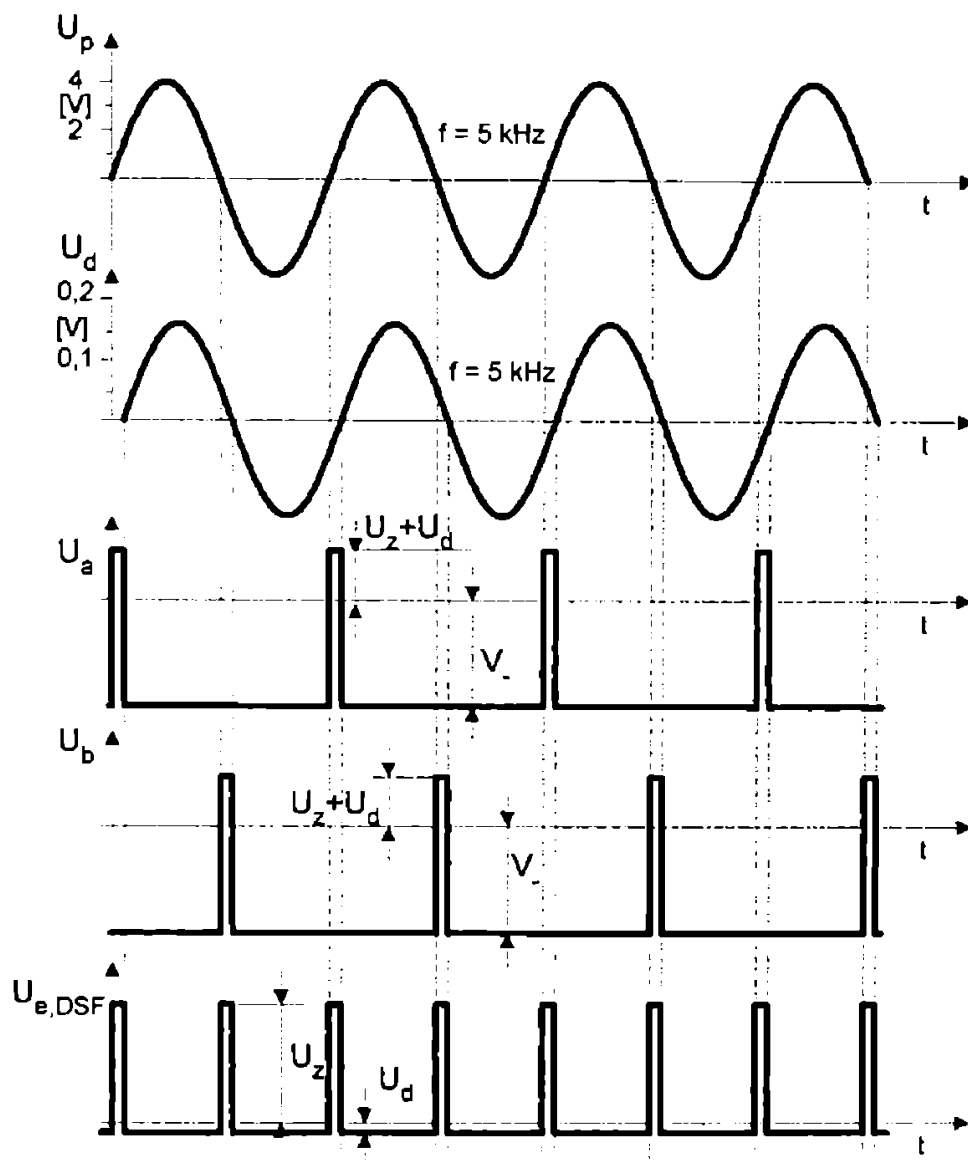


fig.3.15

Dar funcție de valoarea impedanțelor traductoarelor ce formează puntea de măsurare, tensiunea U_d poate fi defazată sau în avans de fază față de tensiunea ce o alimentează. Înseamnă că în cazul în care tensiunea de alimentare a punții ar constitui referința fazei tensiunea la ieșirea detectorului sensibil la fază nu ar reprezenta univoc valoarea și semnul defazajului.

Din acest motiv s-a folosit un artificiu, generând o referință decalată a fazei. Această referință a fazei se formează pe placa-modul **MSG -2001-K**, conform schemei din figura 3.16. Prezentarea integrală a plăcii-modul amintite nu face așa cum s-a mai arătat obiectul prezentei teze.

$$U_{a1} = I \cdot (j\omega L + R_L + R) \quad 3.20$$

unde:

R_L - rezistența ohmică a bobinei de defazare

$$U_R = I \cdot R$$

rezultă:

$$\frac{U_R}{U_{a1}} = \frac{I \cdot R}{I(j\omega L + R_L + R)} = \frac{R}{j\omega L + R_L + R} = \frac{R \cdot (R_L + R - j\omega L)}{(R_L + R)^2 + \omega^2 L^2} \quad 3.21$$

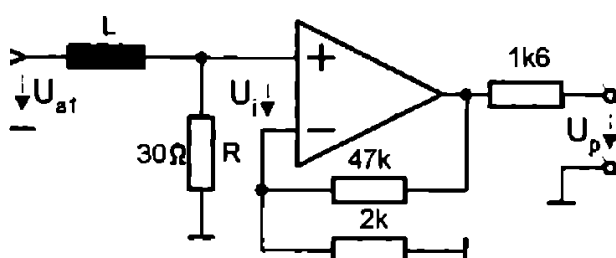


fig.3.16

$$\begin{aligned} L &= 35 \text{ mH} \\ R_L &= 79,3 \ \Omega \\ R &= 30 \ \Omega \\ U_a &= 3,57 \text{ V} \\ U_R &= 0,09 \text{ V} \end{aligned}$$

Întrucât U_p și U_R sunt în fază, iar tensiunea U_{a1} este în fază cu tensiunea U_a care alimentează punțile cu traductoare, defazajul dintre acesta din urmă și tensiunea de referință a fazei este:

$$\varphi_0 = \text{arctg} \frac{\omega L}{R_L + R} = 84^\circ 20' \quad 3.22$$

pentru valorile numerice ale elementelor din figura 3.16 utilizate în structura modului menționat și precizate mai înainte. Deoarece valoarea maximă a defazajului dintre tensiunea de alimentare a punții și cea prelevată din diagonala ei, determinată de solicitarea aplicată traductorului, este mult mai mică decât φ_0 rezultă că de acum tensiunea la ieșirea detectorului sensibil la fază caracterizează univoc valoarea și semnul defazajului (deci și a forței aplicate).

Funcționarea acestui tip de detector sensibil la fază a fost testată cu ocazia predării contractului de cercetare nr. 107/1987; Adiț. 4/1990 cu fosta Întreprindere "Infrățirea" Oradea, unde funcționează centrul de prelucrare orizontal **CPE 1-5 CF** echipat cu un sistem de protecție a sculelor proiectat, realizat și montat integral de Colectivul de cercetare-proiectare mașini-unelte din Catedra TCM.

3.4.3. Filtrul trece jos

Acest circuit trebuie să asigure transferul integral al valorii medii a tensiunii furnizate de etajul detector și re-

jecția cât mai puternică a pulsațiilor determinate de purtătoarea de **5 kHz** și armonicile sale. În cazul detecției de anvelopă expresia tensiunii furnizate de redresorul de precizie bialternanță, în absența C_{19} și C_{20} - figura 3.12 și figura 3.13, este dată de relația:

$$U_{e,DA} = \frac{2 \cdot A_1}{\pi} \cdot \left[1 - 2 \cdot \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{4n^2 - 1} \cdot \cos(2n \cdot \pi \cdot f \cdot t) \right] \quad 3.23$$

Componenta continuă este:

$$U_{e,DA,0} = \frac{2 \cdot A_1}{\pi}, \quad 3.24$$

iar primele două componente spectrale având respectiv frecvențele de **10 kHz** și **20kHz** respectă relațiile:

$$U_{e,DA,1} = \frac{4 \cdot A_1}{3 \cdot \pi} \leq 4,24 \text{ V} \quad 3.25$$

$$U_{e,DA,2} = \frac{4 \cdot A_1}{15 \cdot \pi} \leq 0,85 \text{ V} \quad 3.26$$

Datorită prezenței capacității C_{19} cu care se imprimă redresorului de precizie și un caracter integrator, de filtru trece-jos, având frecvența de tăiere:

$$f_{R,S} = \frac{1}{R_{11} \cdot C_{19}} \cong 1 \text{ kHz} \quad 3.27$$

și a filtrului trece-jos pasiv realizat cu R_{12} și C_{20} și având frecvența de tăiere:

$$f_{P,S} \cong 1 \text{ kHz} \quad 3.28$$

componentele $U_{e,DA,1}$ și $U_{e,DA,2}$ suferă o atenuare de peste **40 dB** fără a se reduce vitezele de variație a semnalului la ieșirea modulului, impuse de regulă de utilizator (sau de aplicație). Ambele componente, atenuate selectiv, vor trece prin filtrul trece-jos, componenta cu frecvența de **20 kHz** regăsindu-se mult mai puternic atenuată, practic neparticipând la bilanțul pulsațiilor.

În cazul detecției sensibile la fază tensiunea furnizată de detectorul sensibil la fază, prezentată în figura 3.15, este descrisă de dezvoltarea în serie Fourier, de forma:

$$\begin{aligned}
 U_{e,DSF} = & (U_z + U_d) \cdot \frac{\Delta\varphi}{\pi} - U_d + \\
 & + \sum_{n=1}^{\infty} \left\langle \frac{1}{n \cdot \pi} \cdot (U_z + U_d) \cdot \sin(n \cdot \Delta\varphi) \cdot \cos(n \cdot 4\pi \cdot f \cdot t) \right\rangle - \\
 & - \sum_{n=1}^{\infty} \left\langle \frac{1}{n \cdot \pi} \cdot [(U_z + U_d) \cdot \cos(n \cdot \Delta\varphi) - U_d] \right\rangle
 \end{aligned}
 \tag{3.29}$$

Componenta ei continuă este:

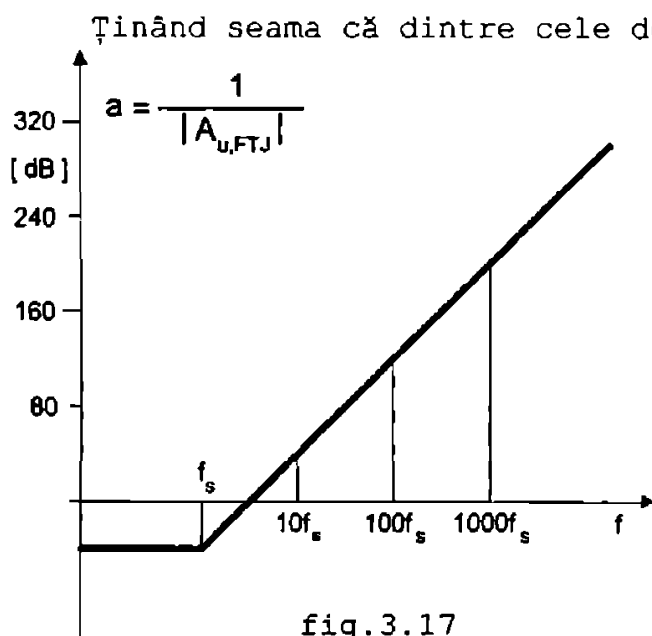
$$U_{e,DSF,0} = (U_z + U_d) \cdot \frac{\Delta\varphi}{\pi} - U_d
 \tag{3.30}$$

Se poate arăta că amplitudinea maximă posibilă a componentei cu frecvența de **10 kHz** este:

$$B_{1,max} = \frac{1}{\pi} \cdot \sqrt{U_z^2 + 2 \cdot U_z \cdot U_d + 2 \cdot U_d^2} \cong 2,81 \text{ V}
 \tag{3.31}$$

iar amplitudinea maximă posibilă a componentei spectrale cu frecvența de **20 kHz** este:

$$B_{2,max} = 0,5 \cdot B_{1,max} \cong 1,4 \text{ V}
 \tag{3.32}$$



$$(a_{20kHz} \geq 20 \text{ dB} + a_{10kHz}),$$

se poate arăta că aportul ei la pulsațiile tensiunii de ieșire va fi neglijabil. Cerința expresă a beneficiarilor a fost ca pentru un semnal treantă de forță cu amplitudinea egală cu forța maximă pentru care s-a proiectat sistemul de protecție, modulul să

poată furniza viteze maxime de creștere și scădere ale tensiunii de ieșire, având valoarea:

$$\frac{\Delta U}{\Delta t} = 1 \text{ V/ms}
 \tag{3.33}$$

ceea ce pentru mașina-unealtă este mai mult decât suficient, iar pulsațiile acestei tensiuni să satisfacă condiția:

$$2 \cdot U_{e,10k} \leq 10 \text{ mV}_w \quad 3.34$$

Restricțiile enumerate au impus pentru filtrul trece-jos caracteristica atenuare-frecvență principală având forma din fig.3.17.

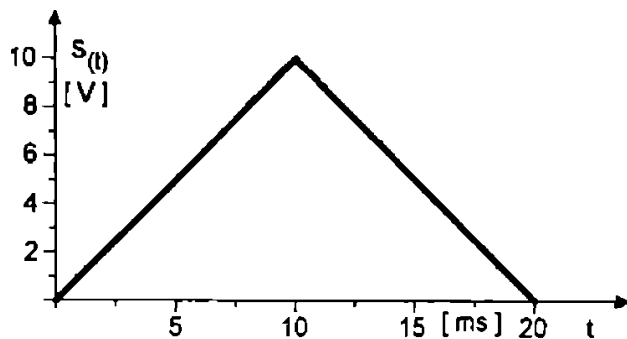


fig.3.18

Condiția 3.34 presupune că filtrul va trebui să permită trecerea nedeformată a semnalului din figura 3.18, având pantele de creștere și descreștere tocmai cele impuse prin relația menționată. Acest semnal este descris de formula spectrală:

$$s(t) = 5 + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{40}{n^2 \cdot \pi^2} \cdot \sin n \cdot \frac{\pi}{2} \cdot t \quad 3.35$$

Amplitudinile fundamentale ($f_f = 50 \text{ Hz}$) și câtorva armonici sunt:

$$U_1 = \frac{40}{\pi^2} = 4,053 \text{ V} / 50 \text{ Hz}$$

$$U_2 = 0$$

$$U_3 = \frac{40}{9 \cdot \pi^2} = 0,4503 \text{ V} / 150 \text{ Hz} \quad 3.36$$

$$U_4 = 0$$

$$U_5 = 0,162 \text{ V} / 250 \text{ Hz}$$

$$\frac{U_5}{U_1} = 0,04$$

Observând din calcule ce nu se reproduc, /3.13/, /3.18/, scăderea pătratică a amplitudinilor armonicilor s-a dedus că este suficientă o bandă de trecere de **150 Hz**. Din dorința de a realiza un modul de prelucrare cu performanțe superioare care să utilizeze în întregime caracteristicile dinamice ale traductoarelor și să anticipeze eventualele

necesități ulterioare s-a propus pentru filtrul trece-jos frecvența de tăiere:

$$f_s \cong (250 + 300) \text{ Hz}$$

3.37

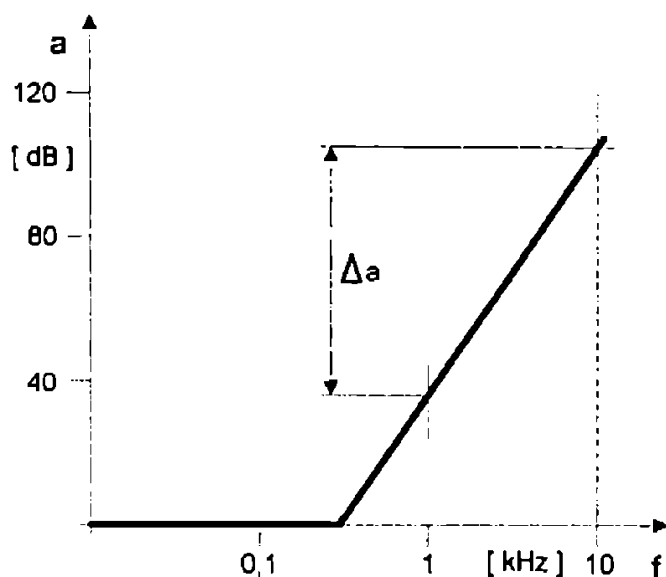


fig.3.19

10 kHz) la ieșirea modulului este:

Din relațiile 3.25, 3.26 și 3.31 rezultă că amplitudinea componentei cu frecvența de **10 kHz** care determină mărimea pulsațiilor tensiunii la ieșirea modulului este mai mare în cazul detecției sensibile la fază, acesta urmând să impună panta caracteristicii *atenuare-frecvență* a filtrului trece-jos. Din schema bloc a modulului p - dinea componente. fundamentale (cu frecvența de

$$U_{e,10k} = B_{1,max} \cdot A_{U,FTJ,10k} \cdot A_{U,ARP,max}$$

3.38

unde:

$B_{1,max}$ - definit conform 3.31

$A_{U,FTJ,10k}$ - amplificarea (atenuarea) filtrului trece-jos la frecvența de **10 kHz**, ea constituind mărimea ce se va impune.

$$A_{U,ARP,max} = A_{U,6,max}$$

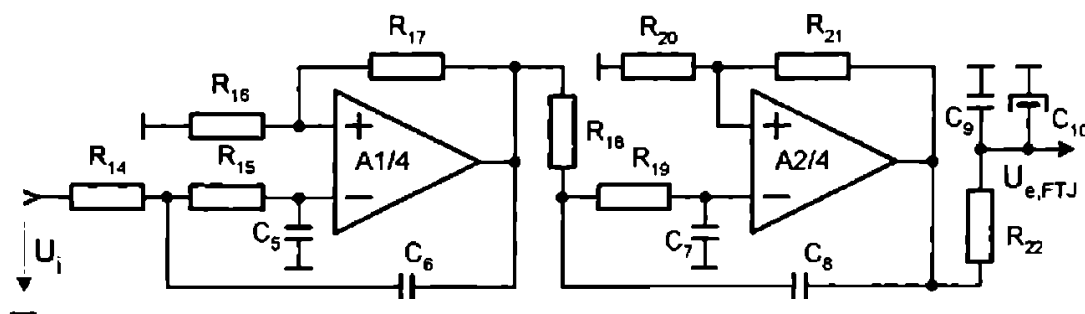


fig.3.20

Rezultă conform 3.34 și 3.38 că amplificarea de tensiune va trebui să satisfacă condiția:

$$A_{U,FTJ,10k} \leq \frac{U_{e,10k}}{B_{1,max} \cdot A_{U,6,max}} = 5,93 \cdot 10^{-6}$$

3.39

corespunzătoare unei atenuări:

$$a_{10k} = \frac{1}{A_{U,FTJ,10k}} \geq 168634 \cong 105 \text{ dB} \quad 3.40$$

Grafic din figura 3.19 rezultă că această atenuare este obținibilă doar în cazul utilizării unui filtru trece-jos vânt pentru atenării de minim:

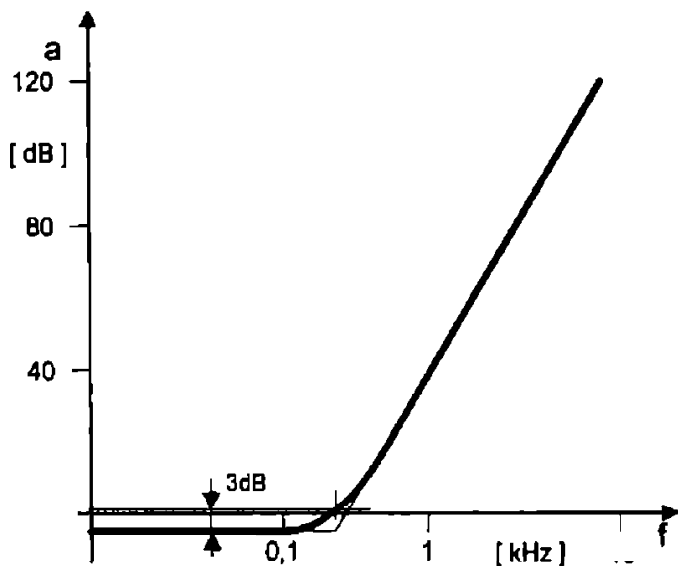


fig. 3.21

72 dB/decadă,

sarcină dificilă, soluționabilă doar cu un filtru activ. Din acest motiv s-a adoptat o schemă de filtru activ de ordinul 4 cu 2 amplificatoare operaționale prezentată în figura 3.20, care realizează o atenuare de:

$$80 \text{ dB/decadă} \quad 3.41$$

Se observă că la ieșirea filtrului (activ) s-a conectat un altul pasiv format din elementele R_{20} , C_{17} , C_{18} cu frecvența de tăiere:

$$f_{1,s} = \frac{1}{R_{20} \cdot (C_{17} + C_{18})} \cong 1 \text{ kHz} \quad 3.42$$

pentru amortizarea pulsațiilor de frecvență mare și eventualelor oscilații ale amplificatoarelor operaționale din compunerea filtrului activ. Din motive de simplitate în cazul filtrului activ s-au adoptat:

$$R_{12} = R_{13} = R_{16} = R_{17} = R = 68 \text{ k}\Omega \quad 3.43$$

$$C_1 = C_2 = C_3 = C_4 = C = 8,24 \text{ nF}$$

valori care determină frecvența limită:

$$f_s = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R \cdot C} = 284 \text{ Hz} \quad 3.44$$

Caracteristica atenuare-frecvență experimentală a filtrului trece-jos se prezintă în figura 3.21.

3.4.4 Amplificatorul și redresorul de precizie

În continuarea prelucrării, semnalul de la ieșirea filtrului trece jos trebuie amplificat la un astfel de nivel încât variației între 0 și valoarea maximă a forței sau momentului să-i corespundă o variație a tensiunii de ieșire între 0 și 10 V. Întrucât celulele flexibile și centrele de prelucrare lucrează cu o mare diversitate de scule cărora le corespund forțe sau cupluri maxime admise plasate într-o gamă foarte largă de valori, [23], [24], [25], [26], este utilă posibilitatea măsurării pe mai multe scări. Din acest motiv amplificatorul și redresorul de precizie sunt prevăzute cu posibilitatea lucrului pe două scări, selectarea acestora făcându-se prin comandă exterioară de la automatul programabil care conduce ciclul mașinii-unelte. De asemenea în acest circuit se realizează compensarea tensiunii reziduale, conform schemei bloc din figura 3.11. Conform cerințelor enumerate amplificatorul și redresorul de precizie au schema de principiu din figura 3.22.

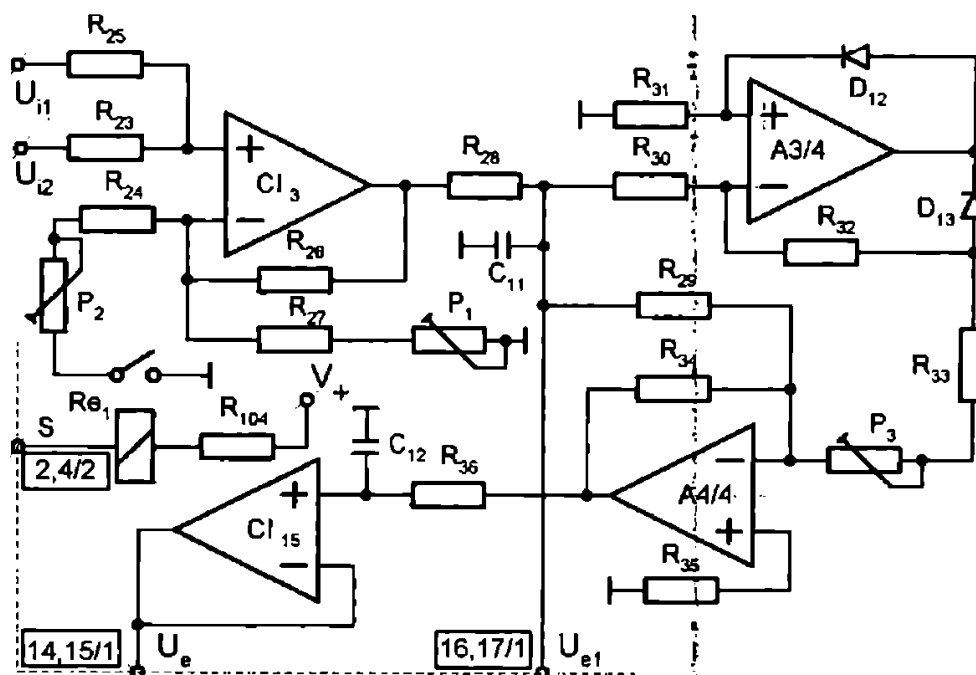


fig.3.22

Funcționarea circuitului este descrisă de ecuațiile:

$$U_{e1} = A_{U1} \cdot \frac{U_{i1} \cdot R_{23} + U_{i2} \cdot R_{25}}{R_{23} + R_{25}} \cdot \frac{R_{j1}}{R_{28} + R_{j1}} = :$$

$$= A_{U1} \cdot \frac{U_{i1} \cdot R_{23} + U_{i2} \cdot R_{25}}{R_{23} + R_{25}} \cdot \frac{R_{29} \cdot R_{30}}{R_{28} \cdot R_{29} + R_{28} \cdot R_{30} + R_{29} \cdot R_{30}} \quad 3.45$$

$$U_e = |U_{e1}| \quad 3.46$$

A_{U1} - amplificarea de tensiune a amplificatorului, dată de una din relațiile următoare:

$$A_{U1,1} = 1 + \frac{R_{26}}{R_{27} + P_1} \quad 3.47$$

pentru cazul când pinii $\boxed{2, 4/2}$ nu sunt conectați la masă (scara mai puțin sensibilă) sau:

$$A_{U1,2} = 1 + \frac{R_{26} \cdot (R_{24} + R_{27} + P_1 + P_2)}{(R_{27} + P_1) \cdot (R_{24} + P_2)} \quad 3.48$$

pentru cazul când pinii $\boxed{2, 4/2}$ sunt conectați la masă (scara mai sensibilă)

unde:

R_{11} - rezistența de intrare a redresorului de precizie

P_1, P_2 - valorile reglate ale semireglabilelor cu același indicativ.

Amplificatorul este realizat folosind ca element activ amplificatorul operațional de precizie, cu derivă termică redusă CI₃- β M308, în timp ce redresorul de precizie folosește ca elemente active secțiunile A3/4 și A4/4 ale amplificatorului cuadruplu integrat CI₄- β M 324. Repetorul integrat ce furnizează semnalul de ieșire este realizat cu amplificatorul operațional CI₁₅- β A741.

Prezența redresorului de precizie utilizat pentru prima dată aici în structura modulelor de acest tip se argumentează prin necesitatea de-a furniza către comanda adaptivă sau către blocul ce conduce mașina-unealtă, a unei tensiuni U_0 , întotdeauna pozitive, indiferent de sensul solicitării la care este supusă scula și implicit mașina-unealtă. Problema este deosebit de acută la sistemele de protecție a sculelor unde plăcile de intrări analogice ale automatelor programabile acceptă spre prelucrare doar tensiuni pozitive.

Intrucât:

$$R_{25} \ll R_{11} \quad \text{și} \quad R_{20} = R_{21} \quad 3.49$$

pentru calcule preliminare se poate considera cu bună aproximație că:

$$U_e = 0,5 \cdot A_{U1} \cdot (|U_{11}| + U_{12}) \quad 3.50$$

relație în care U_{11} este semnalul de la etajul detector prelucrat prin filtru activ trece-jos, iar U_{12} este semnalul fur-

nizat de compensatorul automat conform unui algoritm ce se va prezenta în paragraful următor.

De altfel aproximarea introdusă prin 3.50 nu este deranjată întrucât pentru fiecare tip de traductor la montaj și în cursul lucrărilor de punere în funcțiune a mașinii-unelte se realizează și operația de etalonare în urma căreia solicitării maxime îi va corespunde tensiunea de ieșire de cap de scală:

$$U_e = +10,0 V \quad 3.51$$

sau o altă valoare impusă de beneficiar, aplicație, ori limitele circuitelor cărora li se aplică.

3.4.5. Compensatorul automat

Este circuitul cel mai complex din componența modului, înglobând și partea cea mai consistentă a contribuției originale a autorului atât ca principiu și realizare cât și ca aplicare concretă în comanda adaptivă și în sistemele de protecție a sculelor cu performanțe și facilități sensibil sporite față de realizările anterioare din domeniu. Date fiind cerințele impuse modulului electronic de prelucrare prezentate în paragraful 3.4.1. compensatorul automat are structura prezentată în figura 3.23.

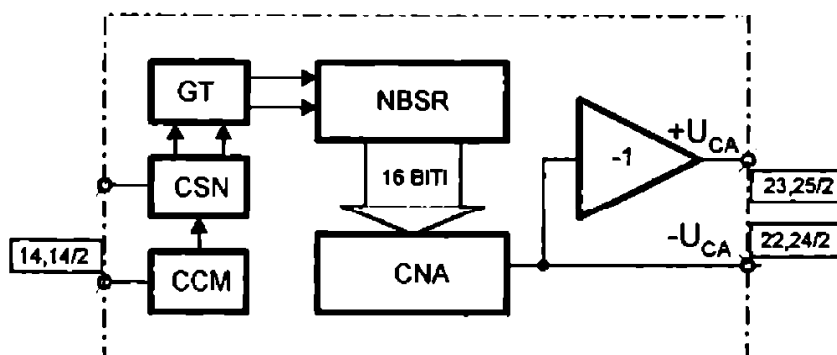


fig. 3.23

Semnificația notațiilor utilizate este:

- CCM - circuitul pentru comanda memorării
- CSN - comparatoarele pentru sensul de numărare
- GT - generatorul de tact
- NBSR - numărătorul binar sincron reversibil
- CAN - convertorul numeric analogic

Conform acestei scheme bloc, funcționarea sa este următoarea:

În lisa semnalului "Așchiere" (contactul între pinii 14, 15/2 și masă prin AP -deschis) comparatoarele pentru sensul de numărare sesizează semnul tensiunii U_{o1} de la ieșirea amplificatorului și redresorului de precizie, prezentat

în paragraful anterior. Funcție de acesta (pozitiv sau negativ) impulsurile furnizate de generatorul de tact au acces doar spre una din intrările de numărare (directă sau inversă) ale numărătorului binar sincron reversibil, al cărui conținut se aplică convertorului numeric-analogic ce furnizează o tensiune continuă negativă proporțională cu acest conținut. Această tensiune, U_{i2} -negativă, care se însumează algebric în amplificatorul și redresorul de precizie cu U_{i1} furnizată de filtrul trece-jos, așa cum se observă în schița explicativă din figura 3.24, tinde să realizeze (pentru solicitare nulă) condiția:

$$U_{e1} = 0$$

3.52

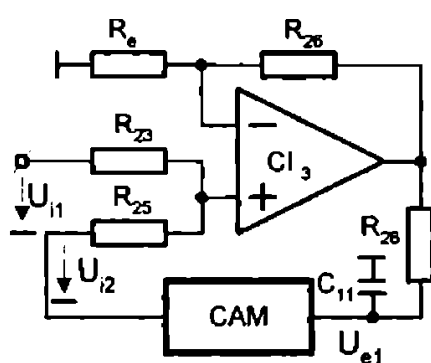


fig.3.24

Avem de-a face de fapt cu o buclă de reacție negativă deosebit de puternică, care tinde să mențină nulă valoarea tensiunii U_{e1} . La aplicarea semnalului "Așchiere" contactul între pini 14,15/2 și masă prin AP -închis) prin circuitul pentru comanda memorării se lansează o temporizare de aproximativ 1,5 secunde necesară amortizării regimurilor tranzitorii determinate de declanșarea avansului

de lucru. După epuizarea acestuia se blochează accesul impulsurilor de la generatorul de tact spre numărător, al cărui conținut va rămâne neschimbat. La intrarea amplificatorului și redresorului de precizie se va aplica în continuare valoarea U_{i2} care înainte de a se efectua vreo prelucrare (în momentul expirării temporizării T) asigură îndeplinirea "dinamică" a condiției 3.52. Din acest moment compensatorul automat funcționează în regim de memorare pe durată infinită.

Din literatura de specialitate, [2.12], [2.14], [3.1], [3.2], [3.12], [3.17], [32], [46], [47], [52], se cunosc multe tipuri de circuite de memorare, analogice sau numerice. Întrucât procesele de prelucrare pe mașini-unelte au durate mari și variabile în limite largi memorarea analogică nu poate intra în discuție datorită "alterării" inacceptabile a valorii memorate. De aceea s-a apelat la o metodă de memorare numerică, care asigură păstrarea nealterată, pe durată infinită, a valorii tensiunii memorate.

Schema de principiu a compensatorului automat se prezintă în figura 3.25, în ea regăsindu-se elementele structurii prezentate în figura 3.23, după cum urmează:

1. Generatorul de tact - realizat cu secțiunea C1/5 a comparatorului cuadruplu integrat CI_5 - $\beta M339$ ca element activ

și componentele pasive aferente. Frecvența tactului generat este delimitată de două condiții antagoniste și anume:

a. trebuie să fie suficient de mare pentru a asigura efectuarea compensării într-un interval de timp de câteva ori mai mic - n - decât temporizarea T lansată de circuitul pentru comanda memorării la apariția semnalului "Așchiere".

b. trebuie să fie suficient de mică pentru ca amplificatorul și redresorul de precizie și filtrul în gamma de la ieșire sa, realizat cu elementele R_{25} , C_5 să poată urmări prin U_{a1} variația tensiunii U_{12} furnizate de compensatorul automat.

Fără a mai repeta fazele de calcul al frecvenței de tăiere a filtrului trece-jos și ținând seama de faptul că numărătorul binar sincron reversibil are capacitatea de 16 biți (argumentată în cele ce vor urma) restricțiile **a.** și **b.** se pot transcrie analitic sub forma:

$$n \cdot \frac{1}{f_T} \cdot 2^{16} \leq T \quad 3.53$$

$$\frac{3}{2} \cdot \frac{1}{f_{s,2}} \leq \frac{1}{f_T} \cdot 2^{16} \quad 3.54$$

unde:

$f_{s,2}$ - frecvența limită superioară a ansamblului *amplificator redresor de precizie, filtru în gamma și filtru în T* (realizat cu elementele R_{21} , C_{20} , R_{54}).

f_T - frecvența tactului generat de generatorul dedicat acestei funcțiuni.

Numeric rezultă (pentru $n=3$):

$$131 \text{ kHz} \leq f_T \leq 22 \text{ MHz} \quad 3.55$$

adoptându-se valoarea:

$$f_T = 400 \text{ kHz} \quad 3.56$$

care a fost utilizată și la realizarea practică a modulului.

2. *Comparatoarele pentru sensul de numărare* realizate cu secțiunile C2/5 și C3/5 ale comparatorului cuadruplu integrat CI₅-βM339 și elementele pasive aferente.

3. *Circuitul pentru comanda memorării* realizat cu timerul integrat CI₇-βE555, secțiunea C4/5 a aceluiași comparator cuadruplu și elementele pasive aferente.

4. *Numărătorul binar sincron reversibil* de 16 biți folosind ca elemente active circuitele integrate CI₁₁ ÷ CI₁₄ de

tip CDB4193. Impulsurile furnizate de generatorului de tact sunt formate cu tranzistoarele T_3 și T_4 . În cazul în care din anumite motive sursa de $+5\text{ V}$ lipsește în locul numărătoarelor TTL se pot utiliza numărătoare integrate CMOS -MMC40193 alimentate de la V_+ , obținându-se în cursul experimentărilor performanțe superioare.

5. Convertorul analog numeric de 16 biți, realizat cu circuitele integrate CI_8 , CI_9 -DAC08 și secțiunea A1/10 a am-

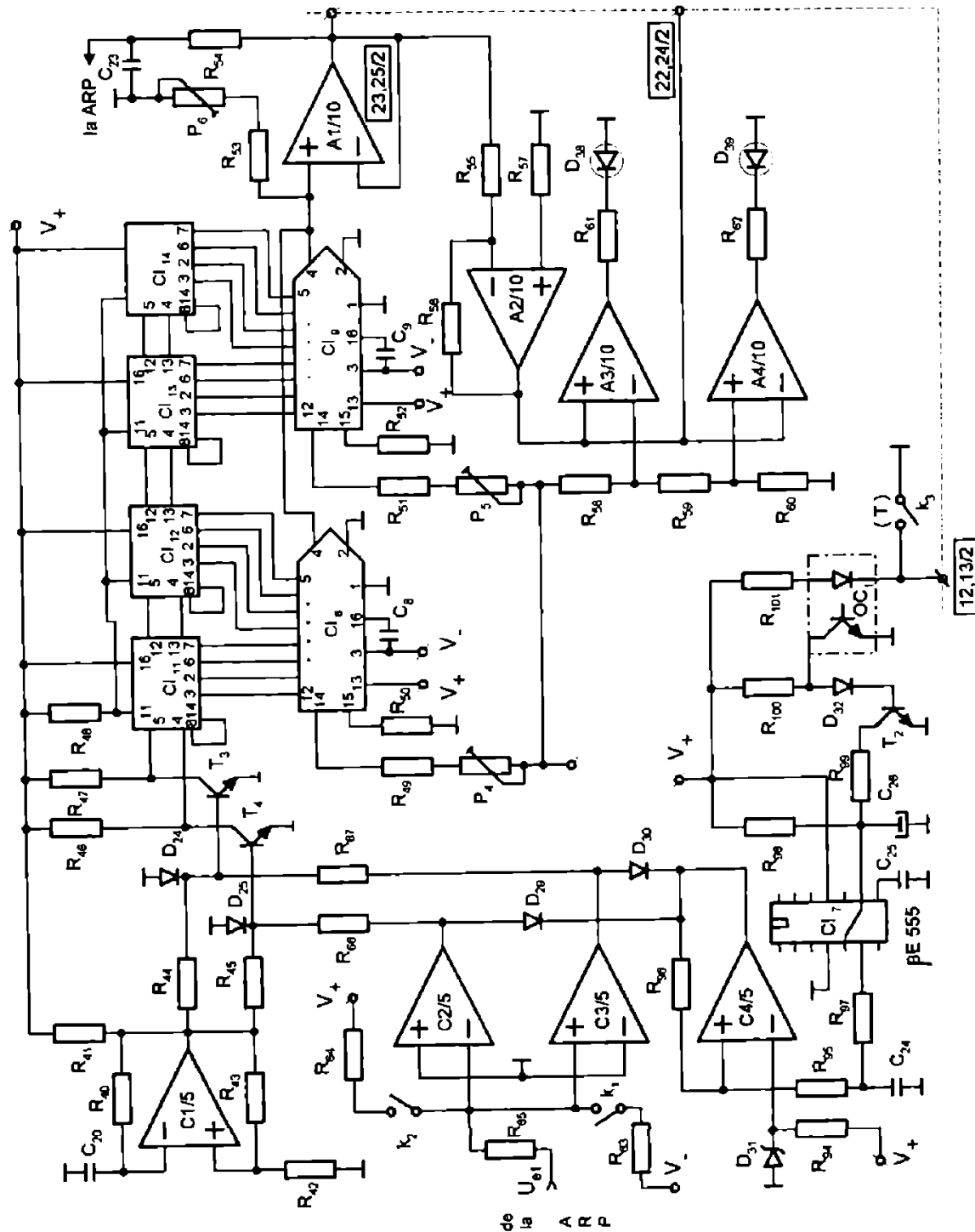


fig. 3.25

plificatorului cuadru integrat CI₁₀-βM324.

Se impun câteva explicații vizavi de motivul alegerii unui convertor de 16 biți. Într-o variantă mai puțin perfecționată elaborată anterior de autor, compensarea se realiza conform schemei din figura 3.26 prin acțiunea cumulată a potențiometrului P și a compensatorului automat CAM 1, evident mult mai puțin performant decât cel din prezentarea curentă.

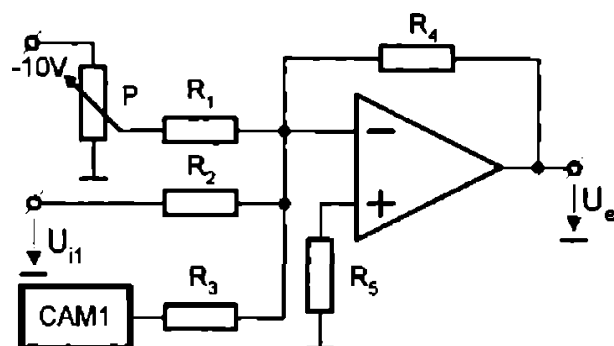


fig.3.26

Cu P se realiz c mp - sarea "brută" efectuată manual de către operator compensarea automată propiu-zisă putându-se realiza doar într-o anumită gamă, în jurul valorii

reglaj al potențiometrului. Compensatorul automat CAM1, prezentat detaliat în alte lucrări ale autorului avea în

componentă un convertor analog numeric de 8 biți, și în regimul combinat de compensare manual / brut - automat / fin asigura efectuarea compensării cu o eroare maximă absolută:

$$e_c = (U_i + U_{off} + \Delta U) \cdot \frac{R_4}{R_2} = 9,4 \text{ mV} \quad 3.57$$

unde:

U_i , U_{off} și ΔU au semnificațiile și valorile date de relațiile 2.45; 2.46 și 2.47

$$\frac{R_4}{R_2} = 0,2 \quad 3.58$$

Raportul $\frac{R_4}{R_2}$ determină intensitatea acțiunii compensatorului automat asupra tensiunii de ieșire, fiind totodată și o măsură a preciziei cu care se impune a se realiza și se realizează compensarea /3.20/.

Eroarea absolută dată de relația 3.57 permite efectuarea compensării cu o eroare relativă maximă:

$$e_r = \frac{e_c}{U_{e,max}} \cdot 100 = \frac{9,4 \cdot 10^{-3}}{10} \cdot 100 = 0,094 \% \quad 3.59$$

Acest mod de compensare avea două dezavantaje esențiale (care au fost înlăturate prin noua metodă de compensare automată) și anume:

- necesitatea intervenției operatorului pentru efectuarea compensării brute
- posibilitatea apariției unor semnalizări false de avarie din cauza unei compensări brute imprecise, ceea ce implică totodată și instrucțiuni mai complexe de exploatare.

În acest context i s-au impus noului tip de compensator automat următoarele condiții funcționale:

- compensarea să se realizeze fără intervenția operatorului, mai mult chiar, acesta să nu poată interveni asupra ei decât în secvențele de test
- eroarea compensării, în regim automat, definită ca abatere a tensiunii U_{e1} față de valoarea nulă, $e_{c,a}$, să îndeplinească condiția severă (chiar prea severă dacă se au în vedere erorile adesea consistente cu care sunt descrise analitic forțele și momentele caracteristice prelucrărilor pe mașini-unelte):

$$e_{c,a} \leq 0,05 V \quad 3.60$$

Se poate arăta și verifica că în cazul general al utilizării unui compensator automat cu n biți eroarea absolută a compensării este:

$$e_{c,n} = -\frac{U_{CA,MAX}}{2^n} \cdot A_{U1,max} + U_{off} + \Delta U \quad 3.61$$

unde:

A_{U1} - amplificarea de tensiune a amplificatorului din componerea amplificatorului și redresorului de precizie având valoarea dată de relația 3.47 sau 3.48.

U_{off} , ΔU - sunt respectiv tensiunea de offset și tensiunea de intrare corespunzătoare saturației ieșirii comparatorului sensului de numărare, având valorile de catalog precizate de relațiile 2.45 și 2.46. Din relația 3.61 se poate deduce numărul $-n-$ de biți necesar pentru satisfacerea condiției 3.60, după cum urmează:

$$e_r = \frac{e_{c,a}}{U_{e1,max}} \cdot 100 = 0,5 \% \quad 3.62$$

Ținând seama de faptul că:

$$\begin{aligned} -U_{CA,MAX} &= 10 V \\ U_{off} &\leq 5 mV \\ \Delta U &\leq 3 mV \end{aligned} \quad 3.63$$

adoptând pentru $A_{U1,max}$ valoarea:

$$A_{U1,max} = 250 \quad 3.64$$

absolut acoperitoare ținând seama de faptul că în cursul experimentărilor efectuate pentru finalizarea lucrării /3.5/ s-a constatat că pentru cele mai sensibile măsurări de forțe este suficientă valoarea:

$$A_{U1} = 150 \quad 3.65$$

înlocuind în relațiile 3.61 și 3.62 se obține:

$$\frac{10}{2^n} \cdot 250 + 0,005 + 0,008 \leq 0,05 \text{ V} \quad 3.66$$

$$\frac{2500}{2^n} \leq 0,042 \quad 3.67$$

$$n \geq 15,8 \quad 3.68$$

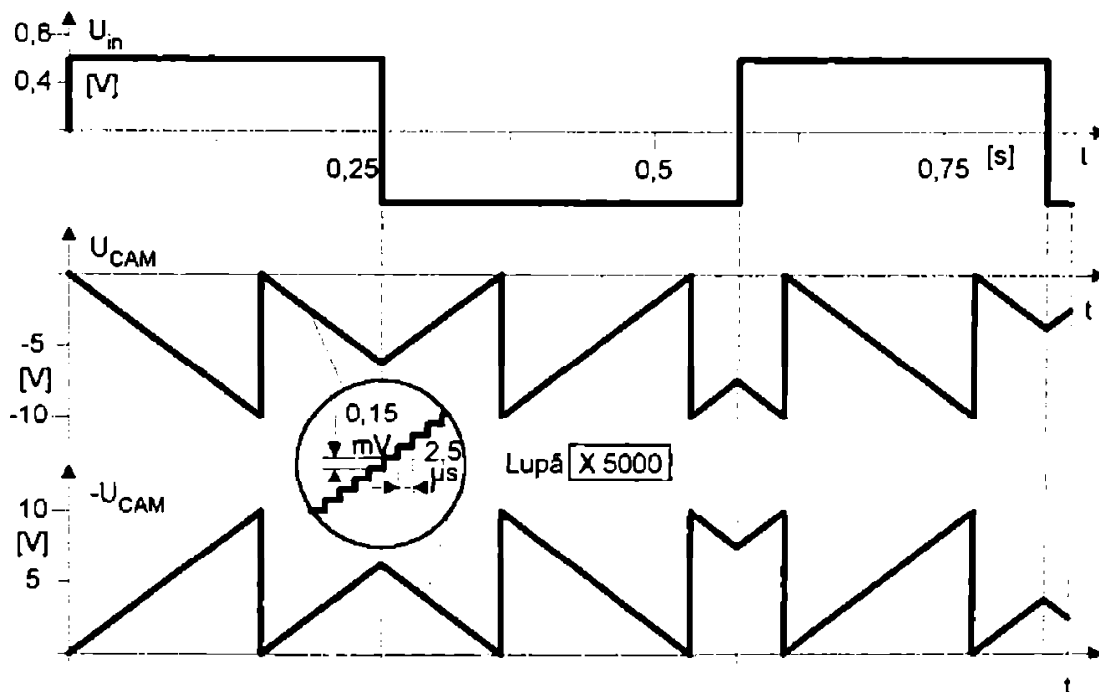


fig.3.27

Întrucât n trebuie să fie număr natural se adoptă prima valoare superioară, adică:

$$n = 16 \quad 3.69$$

Utilizând numărătoare de 4 biți, ușor accesibile industrial s-a obținut un convertor numeric analogic de 16 biți

economic și performant. Funcționarea sa este descrisă integral de răspunsul la semnal dreptunghiular prezentat în figura 3.27. Pe oscilogramele tensiunilor de ieșire ale compensatorului automat nu este observabilă compunerea lor din 2^{16} trepte de valori egale:

$$U_{i,16} = \frac{10}{2^{16}} = 0,15 \text{ mV} \quad 3.70$$

motiv pentru care s-a prezentat și o vizualizare în "Lupa" ce mărește de 5000 de ori.

3.4.6. Circuitul de semnalizare și avarie

Înainte de descrierea acestui circuit este util să se definească situațiile considerate de "**Avarie**". În acest sens la elaborarea modulului s-a plecat de la premiza că el trebuie să aibă și facilități de testare și autotestare. În acest sens se consideră avarie următoarele situații:

- lipsă purtătoare **-LP-** constând în lipsa semnalului generatorului de 5 kHz care alimentează puntea cu transductoare a senzorului
- lipsă semnal **-LS-** constând în absența la intrarea modulului a semnalului din diagonala punții cu transductoare
- defect conectare **-DC-** constând în scurtcircuite sau întreruperi pe traseele de interconectare dintre blocul (modulul) de prelucrare și puntea cu transductoare
- depășirea valorii maxime **-DM-** constând în depășirea solicitării maxime admise
- depășirea valorii exterioare **-DE-** constând în depășirea unei valori a solicitării fixate din exterior.

Primele trei situații considerate "**Avarie**" derivă după cum se observă din funcția de autodiagnosticare a sistemului. Aceasta înseamnă că prelucrarea nu poate fi realizată în condițiile în care sistemul de măsurare este defect semnalizând tipul de defecțiune. Ultimele două situații de avarie aparțin mașinii. Circuitul va semnaliza și semnul tensiunii U_{e1} pentru a se putea controla vizual (prin semnul ei) starea compensată respectiv necompensată a punții senzorului cu transductoare. Întrucât situațiile considerate "**Avarie**" sunt aceleași pentru ambele tipuri de detecție circuitul de semnalizare și avarie va avea aceeași schemă de principiu pentru ambele cazuri și anume cea prezentată în figura 3.28. Așa cum rezultă din schema de principiu circuitul semnalizează optic tipul de "**Avarie**" prin aprinderea LED-ului corespunzător simultan cu întreruperea contactului între bornele **AV1** și **AV2**, conectate la o intrare a automatului programabil ce conduce ciclul de lucru al mașinii-unelte. Nu se procedează la descrierea amă-

nunțită a circuitului, ea rezultând din schemă și din interconexiunea cu restul modului.

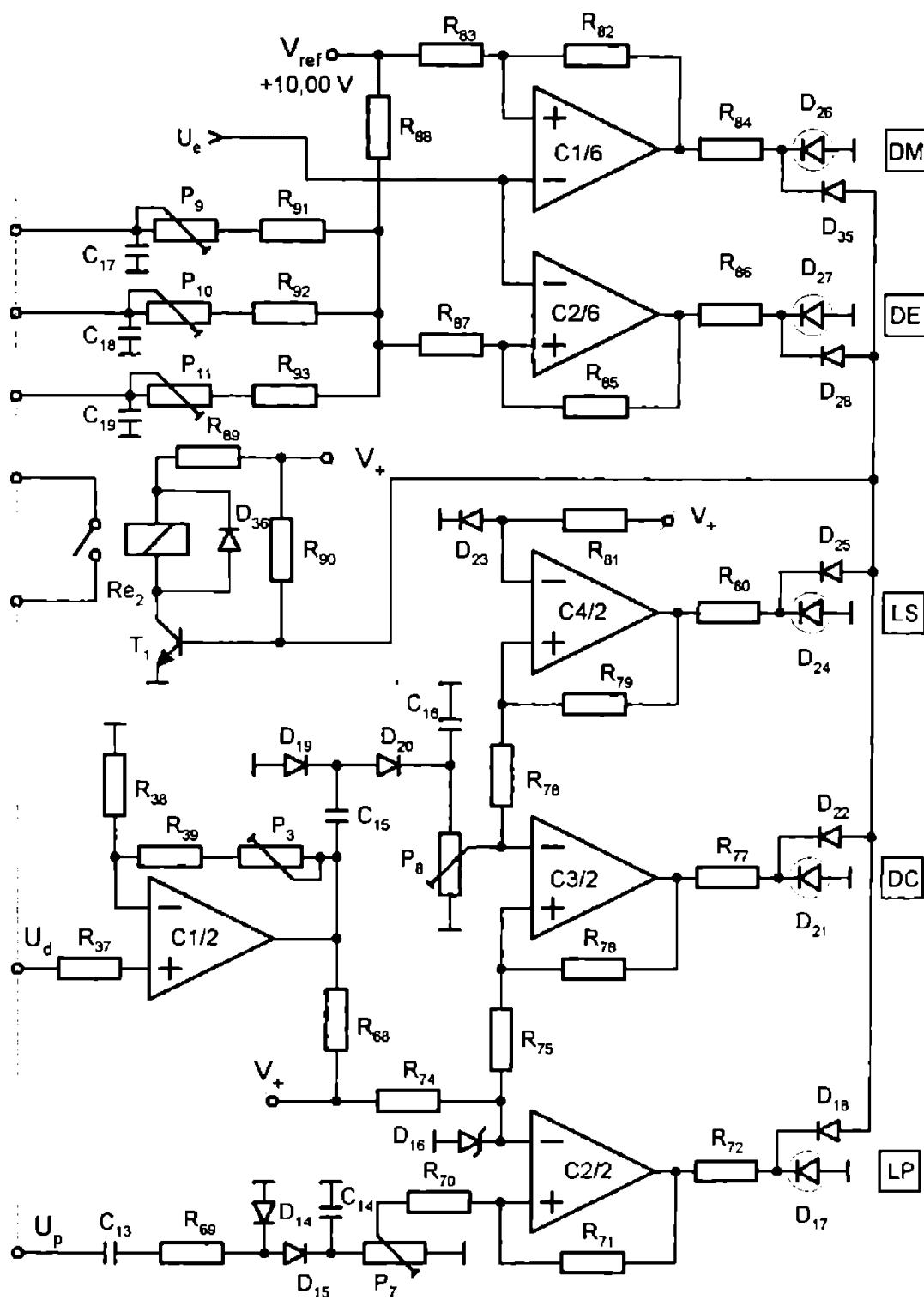


fig. 3.28

3.5 Testarea modulului

Având în vedere complexitatea sporită a modulului și dificultățile pe care le ridică o testare instrumentalizată în condițiile halei de fabricație în care este dispusă mașina-unealtă echipată cu sistem de măsurare a forțelor și/sau momentelor s-au prevăzut câteva facilități de autotestare. Acestea se împart în două categorii și anume:

- a. efectuate permanent, constând în controlul prezenței semnalului și corectitudinii conexiunilor dinspre și spre puntea senzorului, prezentate în paragraful 3.4.6.
- b. efectuate prin comandă manuală asupra compensatorului automat utilizând butoanele de pe panoul frontal NI(K₁), ND(K₂) și T(K₃). În cazul acestui ultim tip de testare efectuată periodic sau în cazul constatării unor nereguli în funcționare se procedează astfel:

Se acționează butonul ND. Independent de semnalele aplicate din exterior modulului compensatorul automat trebuie să treacă în regim de numărare directă sesizabilă prin aprinderea alternativă a LED-urilor (-) și (+) pe de-o parte și **IN** și **S** pe de altă parte fapt ce se constată vizual. Se eliberează ND și se acționează NI. Compensatorul automat trebuie să treacă în regim de numărare inversă, sesizabilă prin aprinderea alternativă a LED-urilor (-) și (+) pe de o parte și **IN** și **S** pe de altă parte, fapt ce se constată vizual. Pentru testarea circuitului pentru comanda memorării din componența compensatorului automat se apasă simultan butonul T și unul din butoanele ND sau NI. LED-urile (-) și (+) respectiv **IN** și **S** trebuie să lumineze alternativ timp de aproximativ 1,5 secunde după care vor rămâne într-o stare stabilă.

Regimul de testare al modulului a fost astfel conceput încât să asigure testarea integrală a compensatorului automat, parțială a amplificatorului și redresorului de precizie și circuitului de semnalizare și avarie. Dacă ținem seama de supravegherea pe care o asigură acesta din urmă se poate afirma că practic circuitele care în mod normal ar putea ridica probleme sunt testate total. S-a renunțat la testarea integrală a modulului din rațiuni de economicitate ținând seama și de faptul că pe parcursul a câțiva ani de experimentări și implementări în producție a sistemelor de comandă adaptivă și de protecție a sculelor nu s-au înregistrat avarii la detectoare și amplificatoare de tensiune.

Schemele de principiu integrale ale modulelor descrise în acest capitol se prezintă în **Anexele 3a01 și 3a02**.

3.6 Contribuții originale și concluzii parțiale

Modulul descris în acest capitol, în variantele pentru detecție de anvelopă și detecție sensibilă la fază este re-

zultatul perfecționării realizărilor autorului în domeniul sistemelor de măsurare a forțelor și momentelor pe mașini-unelte, a sistemelor de protecție automată a sculelor cu senzori magnetoelastici elaborate de colectivul din care face parte și autorul. El elimină dezavantajele sistemelor premergătoare și anume:

- necesitatea intervenției operatorului în operațiile de compensare
- sensibilitatea la perturbații electrice caracteristice halelor în care sunt amplasate mașinile-unelte
- lipsa informației precise asupra naturii avariei
- posibilități reduse de testare în absența prelucrării
- lipsa autodiagnosticării ș. a.

Eliminarea acestor dezavantaje este rezultatul contribuțiilor originale ale constând în:

1. Determinarea cazurilor când este utilă folosirea detecției de anvelopă sau a detecției sensibile la fază și prezentate detaliat în alte lucrări ale autorului
2. Proiectarea, realizarea și experimentarea unui detector de anvelopă performant și ieftin, adecvat prelevării și prelucrării semnalului obținut de la punțile senzorilor cu traductoare magnetoelastice sau de alte tipuri
3. Proiectarea, realizarea și experimentarea unui detector sensibil la fază precis, fiabil, simplu și ieftin utilizând ca element activ comparatorul cuadru integrat $\beta M 339$.
4. Utilizarea detecției sensibile la fază folosind o purtătoare cu fază decalată, fapt ce permite așa cum s-a arătat, măsurarea unor solicitări bidirecționale.
5. Înlocuirea compensării manuale sau semiautomate cu cea automată, excluzând astfel complet orice eroare de operator.
6. Realizarea unei precizii sporite a compensării prin utilizarea unui compensator automat de 16 biți de concepție originală.
7. Implementarea facilităților de autodiagnosticare și autotestare.
8. Introducerea temporizării dintre momentul sosirii comenzii "Așchiere" și cel al "înghețării" compensatorului automat în scopul asigurării stingerii fenomenelor tranzitorii de natură mecanică și determinarea experimentală a unei valori optime acoperitoare. Așa cum s-a mai arătat și cu altă ocazie durata acestei temporizări trebuie verificată și eventual reconsiderată în cazul altor tipuri de mașini-unelte sau a altui procedeu de prelucrare, implementarea noii valori neridicând nici un fel de probleme.
9. Ambele tipuri de module de prelucrare au fost introduse cu bune rezultate în exploatare industrială.

Cap.4 Module electronice speciale pentru comanda servocomponentelor din comenzile adaptive

4.1. Considerații inițiale

Asupra noțiunii și conținutului servohidraulicii au existat și mai există păreri contradictorii. Tot mai mulți însă dintre cei care lucrează și "contează" în acest domeniu sunt de acord că servohidraulica nu include doar componentele hidraulice ci și circuitele electronice de comandă asociate și tehnica de reglare specifică. De aceea servocomponentele, circuitele electronice specifice și tehnica de reglare formează un tot unitar ce trebuie privit și tratat ca atare. O caracteristică principală a servocomponentelor, care definește de fapt și esența lor este aceea că mărimile comandate (de ieșire) sunt mecanice (cursă, unghi de rotație, viteză, turație, forță, moment) sau hidraulice (debit, presiune), continuu reglabile într-un interval determinat, iar mărimile de intrare sunt semnale electrice (tensiuni sau curenți). Trebuie menționat faptul că în ultimă instanță și mărimile de ieșire mecanice sunt reglate tot prin debit sau/și presiune. Servocomponentele au fost utilizate la început în tehnica aeronautică datorită câtorva avantaje esențiale:

- precizie bună
- valori mari ale mărimilor reglate
- semnale de intrare în servocomponent (de comandă) ușor obținibile întrucât majoritatea covârșitoare a prelucrărilor de semnal se realizează electronic.

Cu trecerea timpului, industria constructoare de mașini necesitând mașini și echipamente tot mai perfecționate și performante a adoptat componentele de servohidraulică, circuitele electronice și tehnica de reglare aferente. Necesitatea a determinat dezvoltarea în țările industrializate a unor ramuri ce oferă servocomponente și module electronice de comandă de înaltă performanță la prețuri accesibile. Din păcate la noi în țară industria a evitat implicarea în acest domeniu pe de-o parte datorită inerției, tehnologiilor total neadecvate și a unei prea lejere discipline tehnologice, iar pe de altă parte slabei conlucrări dintre proiectanții de aparatură hidraulică și cei de aparatură electronică.

4.2 Stadiul actual în construcția și automatizarea servocomponentelor

4.2.1 Servosupape

O categorie distinctă și foarte importantă de servocomponente hidraulice o constituie servosupapele. Ele sunt componente comandate electric cu ajutorul cărora se reglează

sau/și controlează continuu presiunea într-un sistem. Pe plan mondial sunt prezente și acționează printr-o producție diversificată și cu adevărat de calitate superioară un număr mic de producători prestigioși.

Corespunzător principiului comenzii se deosebesc mai multe categorii de servosupape:

- a. cu duză paletă
- b. cu bobină mobilă și ac
- c. cu microservomotor electric (rotativ)

Conform unei alte clasificări servosupapele se pot împărți în două grupe și anume:

- rapide
- lente

Din prima grupă fac parte servosupapele cu duză paletă și cele cu bobină mobilă și ac, iar din a doua cele acționate de microservomotoare electrice rotative.

a. Servosupape cu duză paletă

Aceaste servosupape a fost dezvoltate întâi pentru industria aeronautică americană de către firme prestigioase de specialitate. Realizările au fost apoi preluate, perfecționate și adaptate utilizărilor pe mașini-unelte de către firme reprezentative în construcția de componente hidraulice "terestre" [4.1], [4.2].

Un model reprezentativ pentru acest grup de servocomponente este servodistribuitorul produs de firma Rexrot-Mannesman. El se fabrică în mai multe variante și anume cu o treaptă, cu două trepte sau cu trei trepte, fără reacție sau cu reacție inversă negativă (mecanică sau electrică). Pentru exemplificarea funcționării acestui tip de servocomponent ne vom referi la servodistribuitorul cu două trepte, cu revenire mecanică, prezentat schematic în figura 4.1.

Servocomponentul este comandat de un "servomotor" de comandă constituit din două bobine plasate ca în figura 4.2., într-o construcție etanșă față de "zona de lucru hidraulică". Acest servomotor acționează asupra paletii plasate în spațiul dintre două duze fixe 7. În lipsa comenzii (curent nul prin bobinele servomotorului) echilibrul se realizează pentru poziția centrală a sertarului 5. În prezența comenzii, (asigurate de circuitul electronic asociat servocomponentului și determinate de modul de reglare adoptat), paleta este scoasă într-o primă fază a reglării din poziția de echilibru spre exemplu, spre stânga. În cavitatea din capătul din stânga al sertarului presiunea devine mai mare decât în cea din dreapta, determinând deplasarea spre dreapta a acestuia. În urma acestui fapt, arcul lamelar 3 (având funcția de realizare a reacției inverse negative mecanice locale de poziție) articulat sferic cu sertarul readuce paleta într-o poziție

foarte apropiată de cea centrală, care corespundea echilibrului în lipsa comenzii.

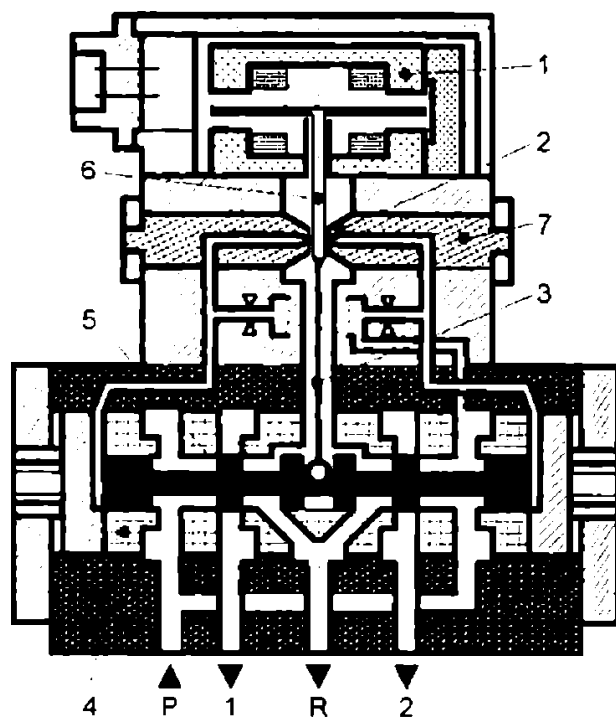


fig.4.1

Sertarul rămâne în acea poziție, care asigură echilibrul dinamic mecano-hidraulico-electric al sistemului. În cazul servodistribuitoarelor fără reacție, în lipsa comenzii sertarul este menținut în poziția centrală de două arcuri elicoidale plasate la capetele sale. În cazul servodistribuitoarelor cu reacție electrică aceasta este asigurată de un traductor liniar de deplasare (în construcție modulară) atașat elementului de execuție al componentului (sertarului). Prelucrarea semnalului furnizat de traductor se poate realiza cu un circuit electronic specializat inclus în structura modului electronic pentru comanda servocomponentului sau distinct și interconectat cu acesta. Din punctul de vedere al acestui modul prezintă interes caracteristicile servomotorului, în cazul nostru inductivitatea și rezistența ohmică a bobinelor de comandă. Acestea au un număr relativ mare de spire și o rezistență ohmică redusă determinând o constantă de timp electrică (L/R) mare a transformatorului electromecanic (servomotorul). Reacția, indiferent de modul în care se realizează, asigură monotonia și stabilitatea funcționării servocomponentului.

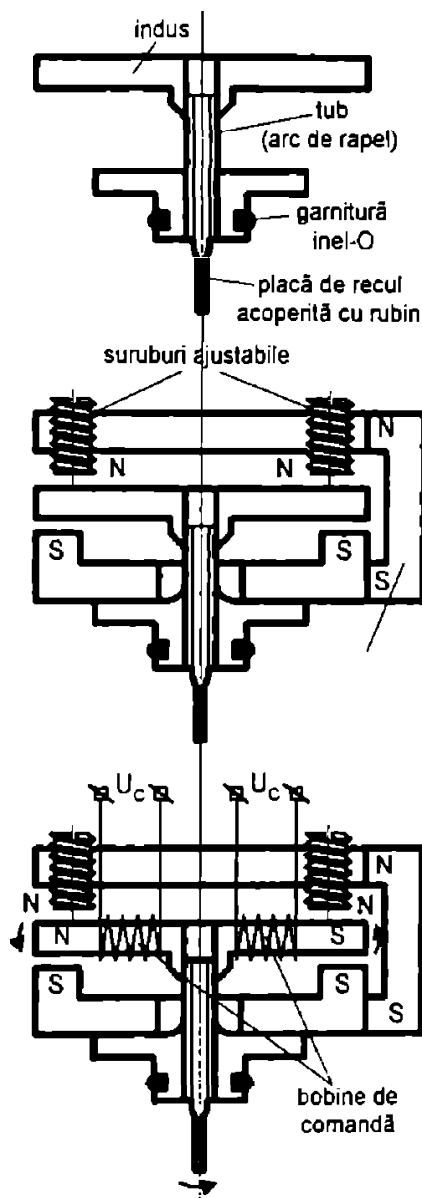


fig.4.2

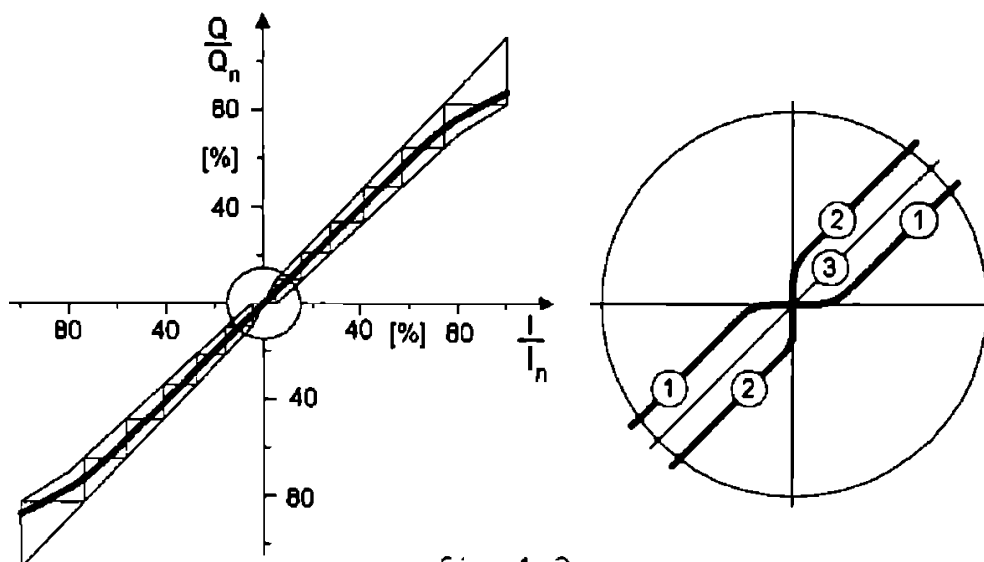


fig.4.3

Datorită facilităților oferite de prelucrarea electronică a semnalului, reacția electrică asigură optimizarea funcționării servocomponentului până la limitele determinate și

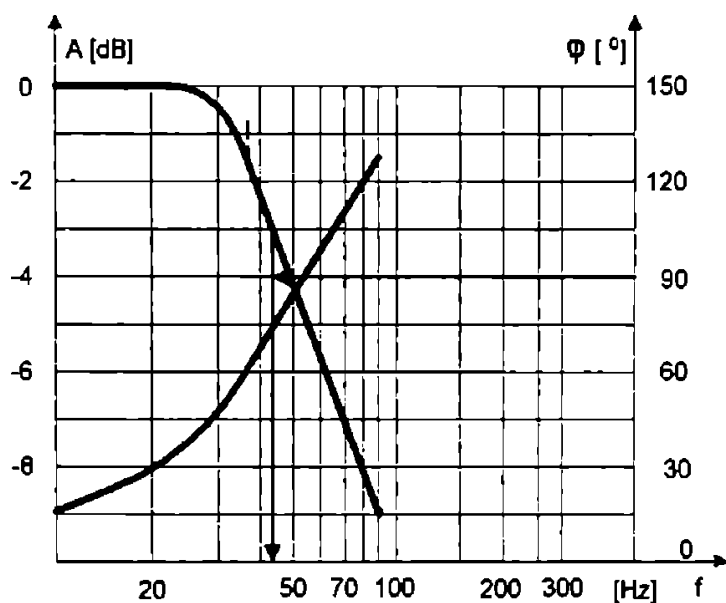


fig.4.4

permise de construcția mecanică. Pentru aprecierea comportării componentului în regim static este necesară cunoașterea caracteristicii de transfer *debit-curent de comandă* prezentată în figura 4.3. Se observă că aceasta are o bună liniaritate într-un interval larg de variație al debitului ($\pm 80\%$).

În ce privește alura caracteristicii în proximitatea imediată a originii (în lipsa

comenzii) ea poate fi modelată prin operare asupra cotelor muchiilor pistonului principal, obținându-se una din cele două variante practic posibile, prezentate în *lupă*, în aceeași figură și anume:

- 1 - cu acoperire negativă
- 2 - cu acoperire pozitivă

Comportarea în regim dinamic este descrisă de caracteristicile *amplitudine-frecvență* și *fază-frecvență* prezentate în figura 4.4, trasate în condițiile funcționării la debit nominal. Din examinarea lor și a altor caracteristici prezentate în literatură, se desprind următoarele concluzii:

- servodistribuitoarele cu reacție (electrică sau mecanică) au o comportare mult mai bună decât cele fără reacție.

- reacția electrică asigură performanțe net superioare (intervale de inversare mai mici, sensibilitate de răspuns mai bună, frecvență limită mai mare, histereză mai mică) celei mecanice, datorită faptului că prin prelucrarea și modelarea semnalului furnizat de traductorul de deplasare care furnizează reacția se optimizează răspunsul servocomponentului, în timp ce reacția mecanică este determinată de parametrii arcului lamelar, neoptimizabili într-un caz dat. Desigur că performanțele superioare se obțin în contul unui cost suplimentar, determinat de modulul de comandă mai complex și de traductorul de translație, dar caracteristicile arată că câștigul în performanță și stabilitatea parametrilor îl argumentează [4.9].

Dintre caracteristicile comune servosupapelor cu duză-paletă, [4.8], menționăm:

- pretenții ridicate față de calitatea filtrării uleiului hidraulic utilizat. Întrucât o impuritate de ordinul a câtorva sutimi de milimetru poate compromite funcționarea, este necesară o filtrare foarte fină (la **5 μm**) greu de realizat continuu în condiții industriale.

- frecvență caracteristică (la -3 dB) mult inferioară celei la care funcționează servosupapa cu bobină mobilă și ac, limitarea fiind determinată și de constanta de timp electrică mare a servomotorului.

- caracteristică debit - deplasare **liniară** într-un interval larg de funcționare, foarte favorabilă, datorată plasării duzelor în dreptul fețelor opuse ale paletii. Unei deplasări mici a paletii îi corespunde o variație mare a presiunii și/sau debitului, comanda caracterizându-se printr-o sensibilitate mai mare decât cea din cazul bobinei mobile.

Există și alte construcții de servosupape cu duză-paletă dar principial nu apar soluții deosebite. Firmele constructoare de prestigiu livrează servocomponente împreună cu circuite de comandă dedicate. Din analiza acestor circuite, [4.9], [4.14], se desprind următoarele concluzii:

- comenzile se realizează prin utilizarea blocului electronic specific servocomponentului (numit generic servoamplificator) și a unor blocuri specifice parametrului reglat (presiune, debit, poziție, etc.).

- se realizează servoamplificatoare distincte pentru servocomponente cu unul sau două capete de comandă (servomotoare).

- datorită constantelor de timp mari ale servomotoarelor etajul final constă dintr-un convertor tensiune-curent.

- curentului de comandă de o anumită valoare medie i se

suprapune o componentă variabilă cu amplitudine și frecvență constantă, la majoritatea modelelor **20 mA/480 Hz** în scopul micșorării histerezei, și deci implicit a măririi simultane a sensibilității și stabilității.

- în etajul final se realizează comutări cu contacte galvanice, mult mai puțin fiabile decât contactele statice.

b. Servosupape cu bobină mobilă și ac

Acest tip de servosupape a fost dezvoltat de firme elvețiene constructoare de com

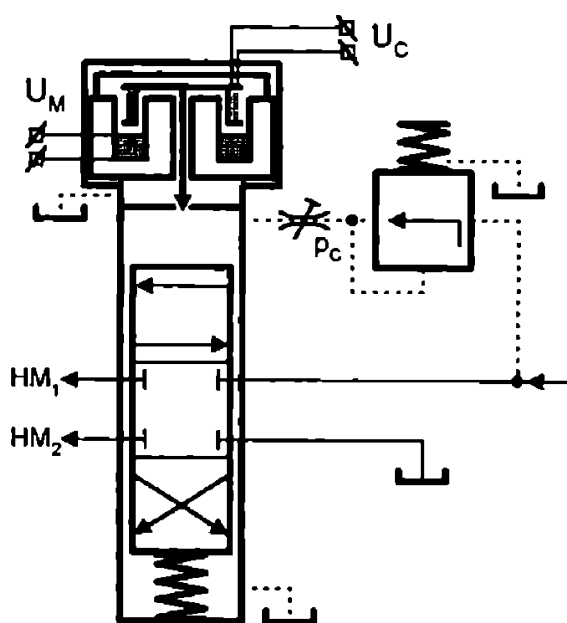


fig.4.5

niene constructoare de com
p n hi i ș.
nice pentru mașini-unelte și
de firme din fosta URSS,
fiind ulterior perfecționată
de proiectanți și utili-
zatori străini și autohtoni.
Se cunosc realizări de ser-
vosupape cu un cap de com-
andă sau cu două capete de
comandă, [4.17], [1], [2].
Schița constructivă a unei
servosupape cu un cap de
comandă este prezentată în
figura 4.5.

Este vorba în esență despre
un sertar de urmărire coman-
dat de un "servomotor" con-
stituit dintr-un cap de
comandă electrohidraulic.
Sertarul de urmărire se află

în poziție de echilibru în cazul realizării egalității:

$$F_C = p_V \cdot S = F_A + G_p \quad 4.1$$

unde:

G_p - greutatea proprie a bobinei mobile și acului.

p_V - presiunea din capul pistonului sertarului de urmărire, opus arcului. Valoarea ei se obține prin divizarea presiunii de comandă p_C (aproximativ constantă), conform relației:

$$p_V = \frac{R_H}{R_D + R_H} \cdot p_C \quad 4.2$$

unde:

R_D - rezistența hidraulică reglată a droselului

R_H - Rezistența hidraulică echivalentă a traseului de lichid cuprins între cavitatea din capul pistonului și rezervor

$$F_a = -k \cdot x = \text{forța arcului}$$

Deplasarea pistonului se obține ca rezultat al modificării valorii p_v determinate de deplasarea axială a acului în duză. Acesta este solidar cu bobina mobilă care se poate deplasa în câmpul magnetic constant generat de bobina fixă alimentată cu o tensiune continuă constantă. Bobina mobilă este alimentată cu o tensiune a cărei valoare determină poziția acului în duză, valoarea R_H și în ultimă instanță valoarea p_v

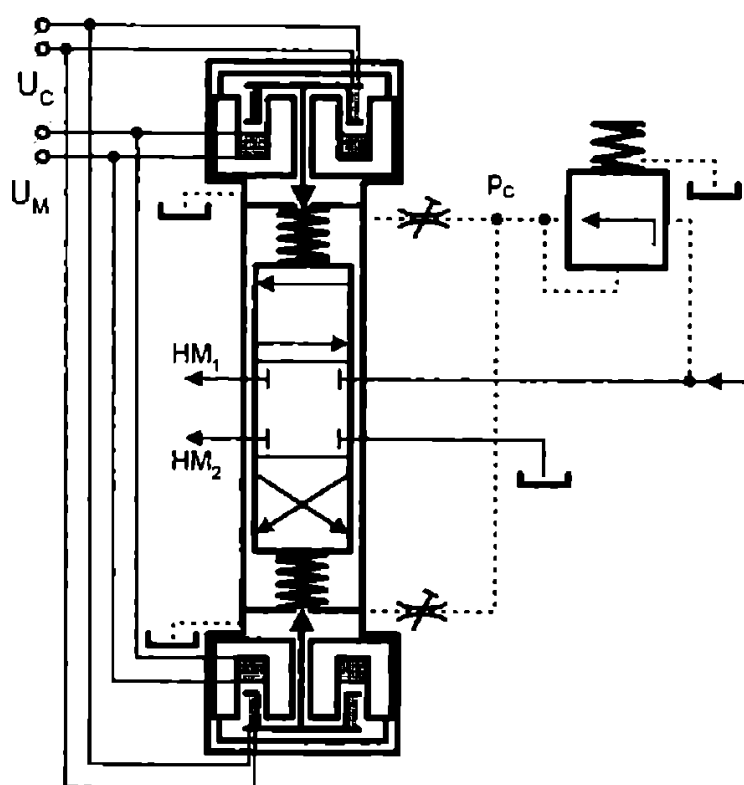


fig.4.6

la care se realizează eg-lit-t- 4.2. Asemenea servosupape au fost realizate și de către colectivul de mașini-unelte din Universitatea "Politehnica" Timișoara și utilizate la realizarea unor standuri experimentale și comenzi adaptive (ex. comanda adaptivă a avansului la danturarea cu freză - melc cilindrică-prototip).

Cu ocazia testelor efectuate asupra acestui servocomponent s-a născut ideea realizării unuia cu două capete de comandă, prin

analogie cu servosupapa cu duză-paletă. Prin adoptarea acestei noi structuri simetrice s-a urmărit pe de-o parte realizarea unei construcții echilibrate din punct de vedere hidraulic, iar pe de-altă parte obținerea unor caracteristici dinamice superioare și egale pentru ambele sensuri de comandă. Fără a insista asupra construcției mecano-hidraulice concrete din motive ce au mai fost menționate cu alte ocazii, se prezintă în figura 4.6 schița constructivă a servosupapei cu două capete de comandă, realizare a Colectivului discipli-

nelor de mașini-unelte, experimentată în comanda adaptivă a avansului și vitezei la danturare, /3.10/.

Principiul de funcționare este același. Bobinele mobile sunt astfel interconectate și alimentate de la tensiunea de comandă încât efectele lor să se însumeze (dacă bobina mobilă 1 este atrasă, bobina 2 este respinsă și invers) situație ce determină o bună liniaritate, sensibilitate mare și histereză mică a comenzii. Din punctul de vedere al circuitului de comandă sunt importante și în cazul acestui servocomponent inductivitatea și rezistența ohmică a bobinelor de comandă.

Ambele au valori mici ($L=1\text{ mH}$; $R=1\ \Omega$) și determină o constantă de timp:

$$\tau = \frac{L}{R} = \frac{1\text{ mH}}{1\ \Omega} = 1\text{ ms} \quad 4.3$$

foarte mică (raportată la cele caracteristice componentelor hidraulice sau mecanice), care nu induce întârzieri în realizarea comenzii. Cu ocazia acestei lucrări contractuale a fost trasată caracteristica de transfer statică a servocomponentului prezentată în figura 4.7 prin dependențele:

$$\frac{Q_1}{Q_n} = f_1\left(\frac{I}{I_n}\right) ; \frac{Q_2}{Q_n} = f_2\left(\frac{I}{I_n}\right) ; \frac{\Delta Q}{Q_n} = f_3\left(\frac{I}{I_n}\right) \quad 4.4$$

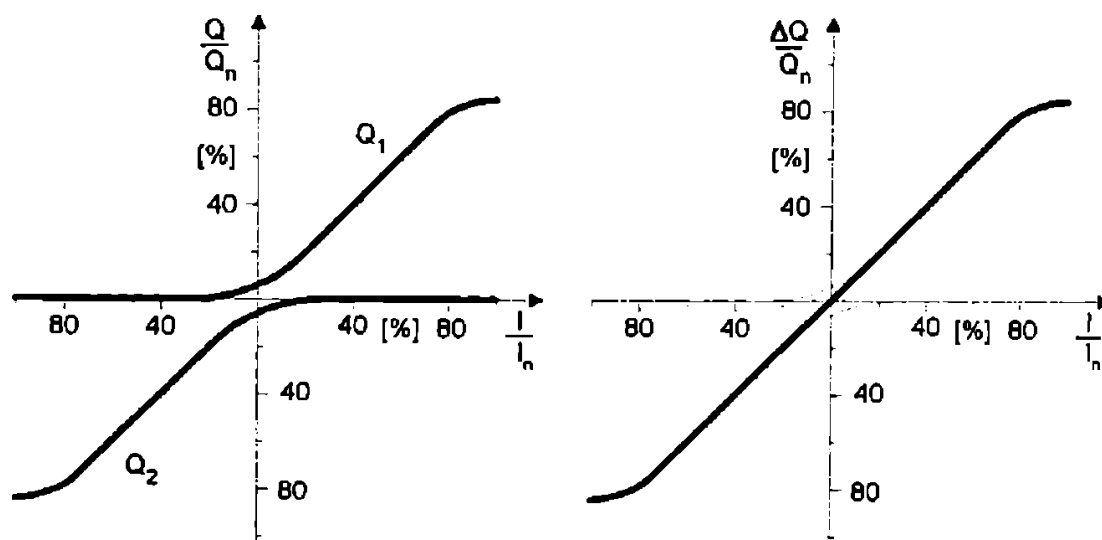


fig.4.7

Zona centrală a caracteristicii $\frac{\Delta Q}{Q_n} = f_3\left(\frac{I}{I_n}\right)$ poate fi modelată prin modificarea formei și dimensiunii axiale ale fanțelor sertarului de urmărire. Din cauza lipsei unor traducătoare de presiune cu o dinamică foarte bună s-a putut studia

doar calitativ (nu și riguros cantitativ) comportarea dinamică a acestei servosupape, utilizând montajul din figura 4.8.

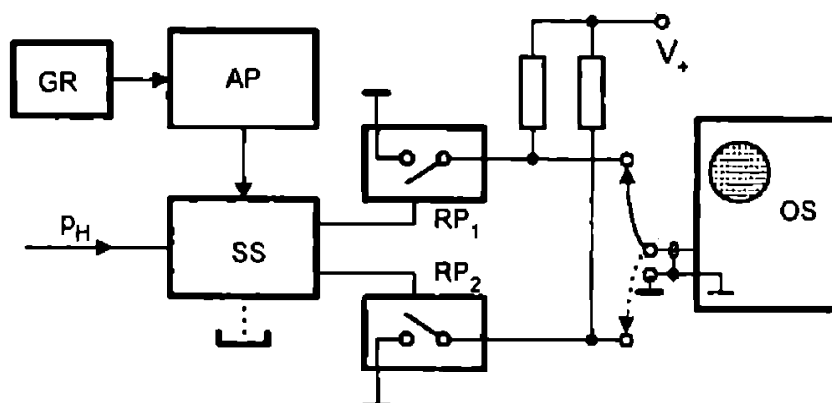


fig.4.8

Semnificația notațiilor utilizate este:

- SS - servosupapa testată
- RP_{1,2} - releele de presiune
- OS - osciloscopul
- GR - generatorul de impulsuri cu frecv. reglabilă
- AP - amplificatorul de putere

Prin intermediul amplificatorului de putere servosupapa a fost alimentată cu impulsuri dreptunghiulare de frecvență variabilă și factor de umplere constant (0.5), urmărindu-se răspunsul ei prin oscilografiera semnalelor releelor de presiune. Pentru presiunea nominală (500 kPa) și la frecvența de 120 Hz oscilograma răspunsului se prezintă în figura 4.9. Ea

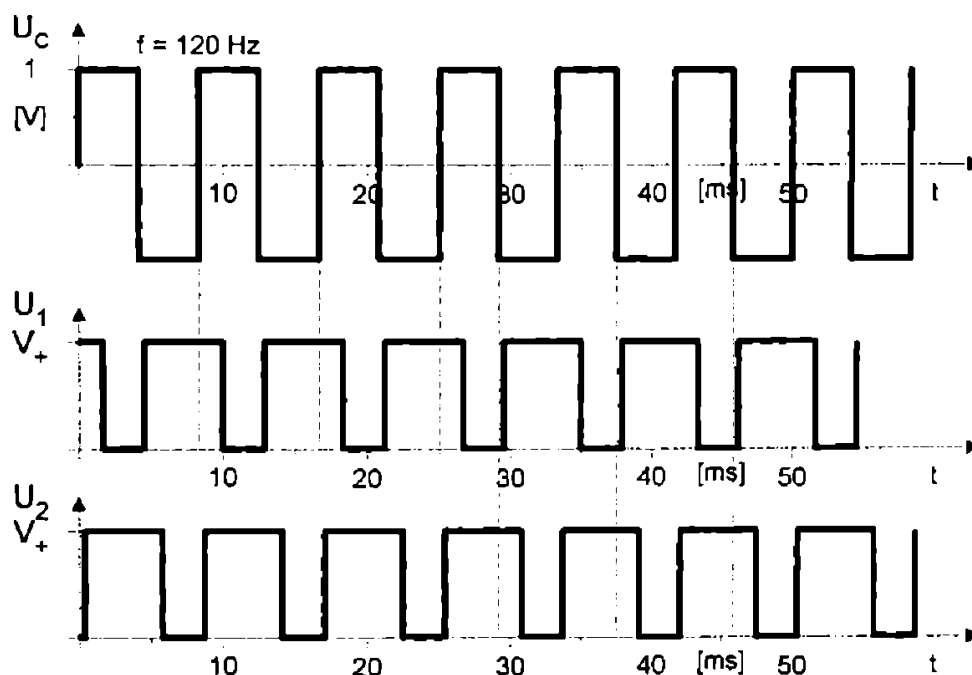


fig.4.9

arată că pentru frecvențe mai mici decât aceasta sertarul de urmărire oscilează în fază cu tensiunea de comandă aplicată,

determinând și variația în fază a presiunii la ieșire. La aceeași presiune și la frecvența de **140 Hz** oscilograma răspunsului se prezintă în figura 4.10.

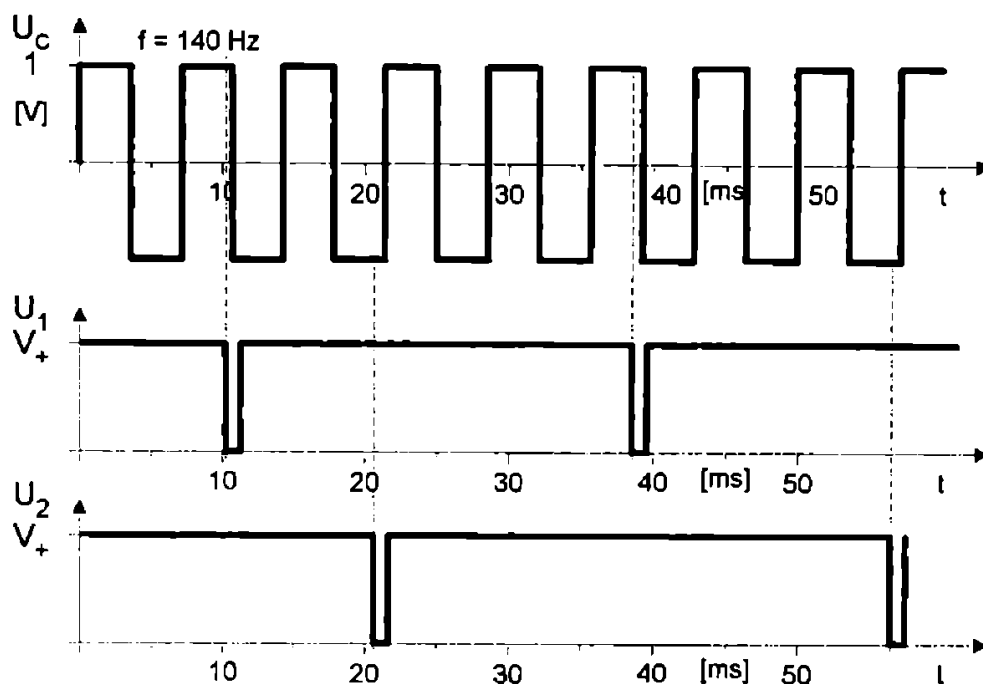


fig.4.10

Pentru frecvențe de comandă mai mari decât aceasta sertarul servosupapei nu mai poate urmări în fază variațiile tensiunii de comandă, amplitudinea oscilațiilor sale scade atât încât fantele de trecere nu se deschid suficient pentru ca în intervalul unei semiperioade presiunea și debitul să crească la valorile necesare comutării releelor de presiune, respectiv funcționării supapei la parametri nominali. Așadar frecvența maximă posibilă de utilizare a servosupapei cu bobină mobilă și ac este plasată în jurul valorii de **120 Hz**.

Concluzia constructorilor componentului vizavi de comportarea sa dinamică /3.10/, /4.6/, este că servosupapa posedă parametri necesari utilizării în sistemele de comandă ale mașinilor-unelte.

c. Servosupape cu motoare rotative
utilizate în comanda adaptivă

c1. Cerințe specifice pentru servosupape
cu motoare rotative utilizate
în comanda adaptivă

La fel ca și în cazul altor servocomponente utilizate în comanda adaptivă a mașinilor-unelte, servosupapele de acest tip trebuie să posede niște caracteristici specifice ca:

- comanda să poată fi asigurată cu forțe și momente de valori mici, din aceleași motive ca și în cazul pompelor și hidromotoarelor reglabile. Suplimentar este de dorit ca ele să funcționeze cu autofrânare pentru minimalizarea influenței ieșirii (presiunii reglate) asupra comportării servocomponentului.

- duratele tranzitorii să fie minime, impunându-se totuși condiția monotoniei răspunsului servocomponentului, aceasta întrucât supracreșterile de presiune produc perturbări în funcționarea unor componente și generează semnalizări false. În unele cazuri (mai cu seamă la procedee de finisare, rectificare, superfinisare, honuire) această necesitate nu se manifestă, ci dimpotrivă sunt de preferat servocomponente lente ce vor realiza o reglare cu caracter puternic integral. O asemenea servosupapă va fi prezentată în paragraful următor.

- precizie de reglare adaptabilă cerințelor ansamblului *mașină-unealtă - servocomponent - parametru reglat*. În acest sens această caracteristică impune în ultimă instanță ca reglarea să se efectueze prin operare asupra circuitului (modulului) electronic de comandă datorită facilității și flexibilității pe care le oferă prelucrarea electronică.

- eroare staționară minimă a parametrului reglat (în general presiune).

- prezența unui releu de presiune în cadrul servocomponentului, cu presiune de comutare egală cu cea controlată și reglabilă simultan cu aceasta.

Din analiza cerințelor mai sus enumerate și a ofertei modeste de asemenea servocomponente s-a decantat necesitatea realizării unei servosupape cu caracteristici cât mai adecvate utilizării în comanda adaptivă a mașinilor-unelte, [4.1], [4.2], [4.3], /4.7/, [4.8], [4.9], [4.13].

c2. Servosupapă - releu

Necesitatea realizării unor modele de comenzi adaptive pentru procedee de așchiere cu parametrii lent variabili în condițiile lipsei unor servosupape-releu potrivite acestui scop au determinat proiectarea, realizarea și experimentarea

unui asemenea servocomponent. Schița constructivă a servo-supapei-releu se prezintă în figura 4.11.

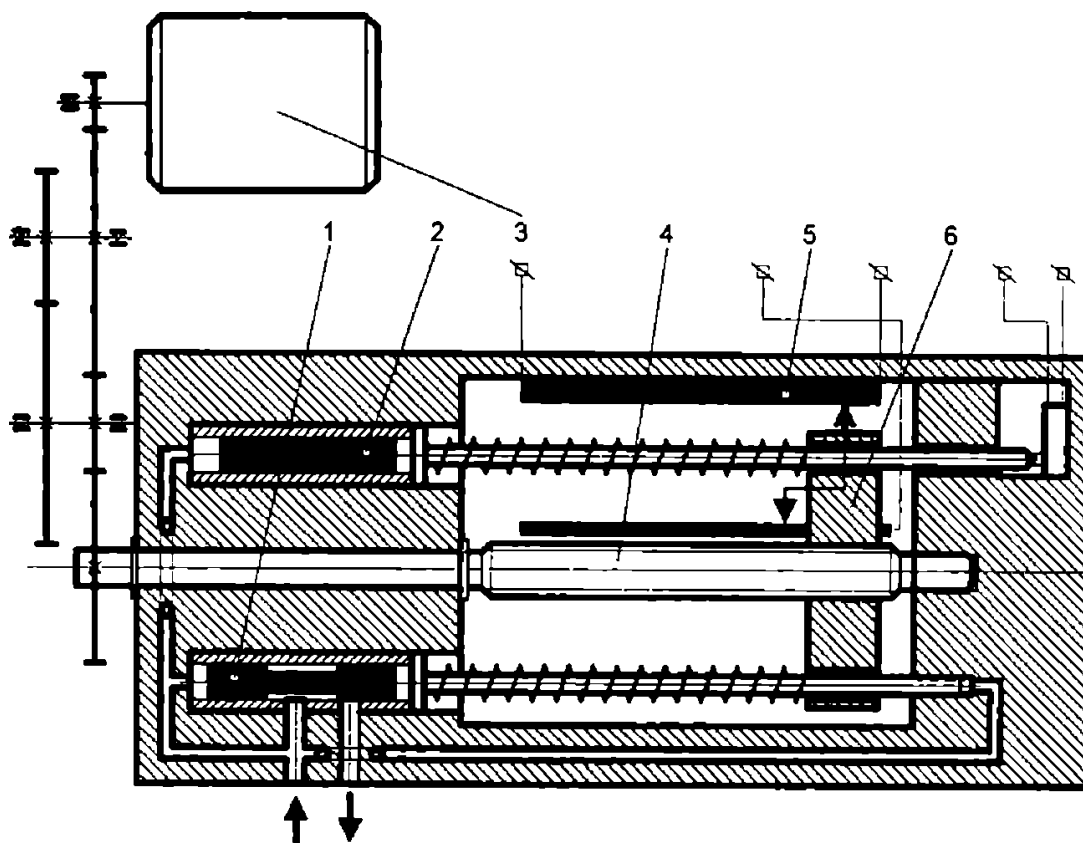


Fig. 4.11

Servosupapa-releu a fost astfel concepută încât să poată funcționa într-una din următoarele variante de conexiune:

varianta 1 - prezentată în figura 4.12 - în care servosupapa (în conexiune de supapă de descărcare a presiunii) și releul sunt conectate la aceeași presiune (cu scopul declarat al controlului și monitorizării evoluției presiunii într-un punct al acționării hidrostatice. Aceasta este varianta cea

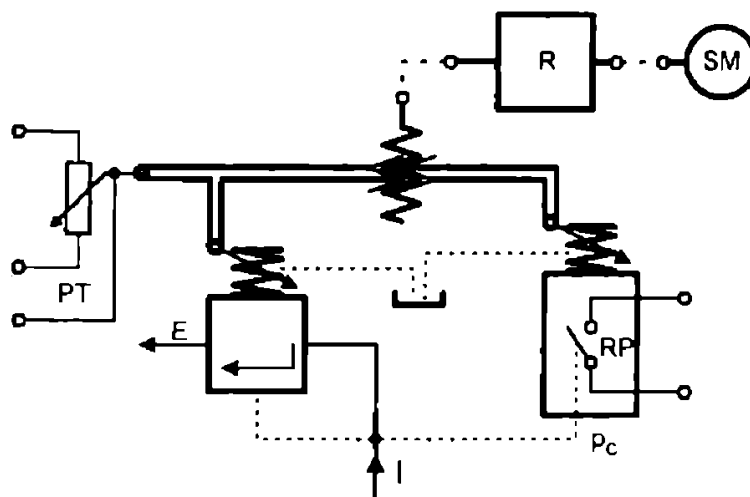


fig.4.12

mai utilizată în sistemele de comandă adaptivă.

varianta 2 - prezentată în figura 4.13 - în care este supusă controlului și monitorizării o presiune de comandă, (conectată și la releu) localizată în exteriorul circuitului de bază.

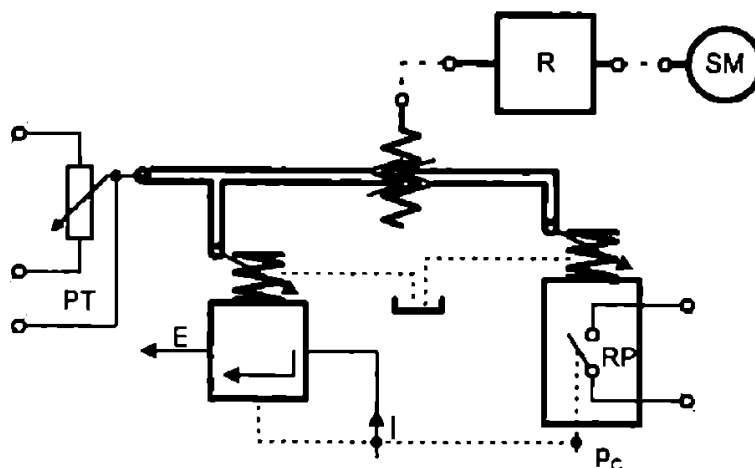


fig.4.13

varianta 3 - prezentată în figura 4.14 în care servosupapa funcționează în montaj de supapă de descărcare a presiunii iar releului i se aplică spre supraveghere o altă presiune decât cea aplicată servosupapei.

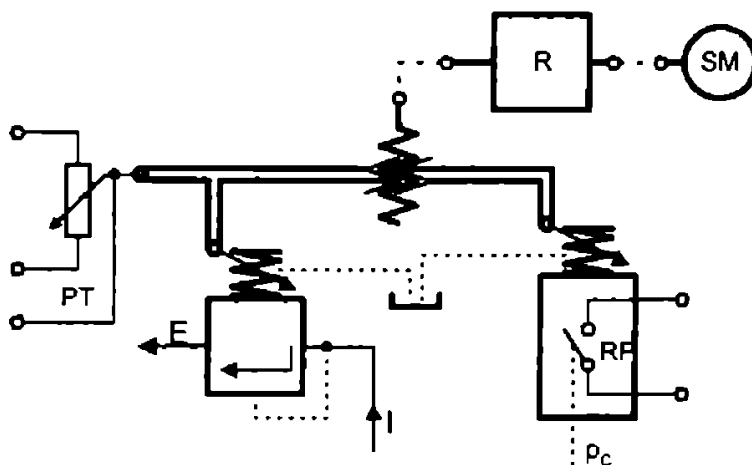


fig.4.14

În oricare din variantele de funcționare posibile deplasarea jugului 6 comprimă sau eliberează arcurile identice ale supapei și releului, astfel încât comutarea releului de presiune din structura servocomponentului se realizează la presiunea la care este reglată și supapa. Se mai menționează că sertarele supapei și releului au exact același diametru. Din examinarea soluției constructive și din testele efectuate în cadrul lucrărilor pentru întreprinderi beneficiare /4.7/, /20/ ale unor mașini-unelte echipate cu acest servocomponent, /3.9/, /3.11/ s-a desprins concluzia că servosupapa-releu

îndeplinesc cerințele impuse de utilizări în comanda adaptivă a mașinilor-unelte (de exemplu la superfinisare, procedeu care se încadrează în categoria celor cu variații lente ale para-metrilor).

Fiind vorba de un servocomponent, performanțele sale au putut fi puse în valoare numai prin utilizarea unui bloc (modul) electronic de comandă judicios ales, proiectat și executat.

4.2.2 Servopompe și servohidromotoare reglabile

a. Cerințe impuse servopompelor și servohidromotoarelor reglabile pentru comanda adaptivă

Așa cum s-a mai precizat și în alte ocazii componentele și servocomponentele pentru comanda adaptivă, îndeplinind funcțiuni specifice procesului controlat și mașinii-unelte, vor avea construcții ce țin seama de cerințele concrete. Totuși există câteva caracteristici relativ generale care se impun servopompelor și servohidromotoarelor reglabile destinate acestui scop [4.2], [4.3], [4.8], [4.12], [4.13] și anume:

- forțe sau momente mici pentru acționare, pentru a se obține pe de o parte un randament cât mai bun al comenzii și pe de altă parte pentru a nu fi necesare blocuri electronice de putere mare pentru amplificarea semnalului de comandă. Totodată este de dorit ca mărimile menționate să nu varieze mult în intervalul de reglare pentru a utiliza eficient elementul de execuție și circuitul de comandă în condițiile asigurării unei precizii optime de reglare. În unele cazuri este utilă folosirea autofrânării atât din motive de simplificare a comenzii dar mai cu seamă pentru a anula efectele schimbărilor din sistemul reglat asupra comenzii.
- durate tranzitorii adaptate necesităților sistemului de reglare. În acest sens experiența colectivului de mașini-unelte de la Universitatea "Politehnica" din Timișoara în care și-a desfășurat activitatea și autorul a arătat că la aceste tipuri de componente nu sunt necesare durate tranzitorii mici, ci dimpotrivă stabilitatea sistemului reclamă în majoritatea cazurilor valori medii și mari ale acestui parametru. Atunci când anumite faze de comandă trebuie realizate cu viteze mari și deci durate tranzitorii reduse se utilizează în majoritatea cazurilor un circuit suplimentar simplu constând dintr-un acumulator și un distribuitor, printr-o soluție consacrată, care nu face obiectul prezentării.

- precizia de reglare trebuie să fie ajustabilă conform cerințelor impuse de procesul reglat, caracteristicile mașinii-unelte și sistemului de comandă. Operația de reglare trebuie să se poată efectua simplu operând asupra modulului electronic de comandă a servocomponentului (de aici și cerințe impuse modulului, asupra lor revenindu-se la momentul oportun), fără intervenții asupra pompei sau hidromotorului datorită dificultăților pe care acestea le implică. De obicei precizia de reglare se corelează cu un parametru esențial al comenzii adaptive, gradul de insensibilitate într-un mod caracteristic ansamblului unitar *proces de prelucrare-mașină-unealtă- sistem de comandă adaptivă*.

- eroarea staționară minimă a parametrului reglat (debit sau turație), o caracteristică ce depinde cvasiunivoc de construcția servopompei (sau servohidromotorului) și care impune precauții speciale la proiectare și realizare.

b. Pompă reglabilă pentru utilizări în comanda adaptivă a mașinilor-unelte

Examinarea acestor cerințe generale pe care trebuie să le satisfacă servocomponentele a pus în evidență faptul că în stadiul actual nu se oferă pe piață servopompe și servohidromotoare adecvate utilizărilor în comanda adaptivă și ca o consecință nici blocuri (module) electronice de comandă specializate. Acest fapt a determinat colectivul de mașini-unelte, îndrumat până în anul 1996 de cel care a fost Prof. dr. ing. Eugen Dodon să proiecteze, realizeze și experimenteze servocomponente specifice acestor tipuri de utilizării. Așa cum a rezultat din paragrafele precedente, punerea în valoare a performanțelor acestora a impus necesitatea extinderii activității de cercetare-dezvoltare și în direcția obținerii unor module electronice de comandă ieftine, performante și fiabile.

Construcția unei asemenea pompe (hidromotor) reglabile este prezentată schematic în figura 4.15. Este vorba despre o pompă cu pistonase axiale (1) acționate de o ciupercă oscilantă (3) cu poziție unghiulară variabilă și reglabilă. Această poziție unghiulară a ciupercii este definită prin unghiul $-\alpha-$ format de normala la suprafața ei cu axa arborelui de antrenare (4) a paharului înclinat ce ghidează piciorul ciupercii (3). Arborele antrenează într-o mișcare oscilatorie ciuperca, concomitent și sincron cu o camă de distribuție. Componenta axială a mișcării oscilatorii a ciupercii se transmite pistonaselor. Modificarea (reglarea) debitului pompei rezultă din modificarea amplitudinii acestor oscilații obținută prin schimbarea poziției axiale a ciupercii. Soluția aceasta de deplasare a pistoanelor și de

reglare a curselor acestora este cunoscută în literatură la pompa Sunstrand- SUA, [4.18].

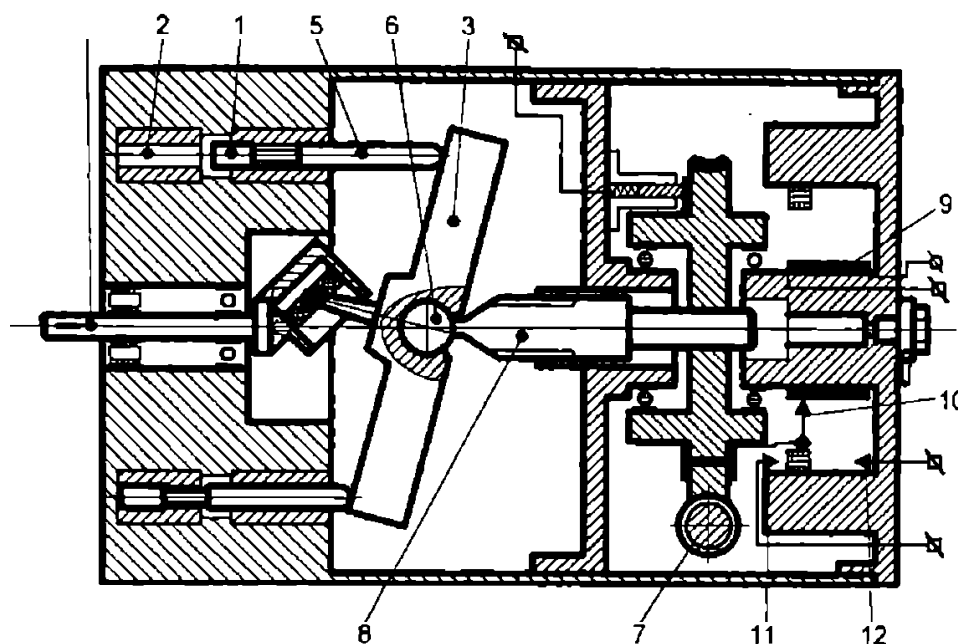


fig.4.15

Funcție de poziția unghiulară a ciupercii, debitul furnizat de pompă este dat de relația cunoscută:

$$Q = k \cdot S \cdot r \cdot \sin \alpha \quad 4.5$$

unde:

k - coeficient dependent de turația de antrenare și de numărul de pistoane axiale.

S - secțiunea transversală a pistonășului

r - raza pe care sunt plasate pistonășele axiale

α - variază în intervalul 5° - 25° .

Rezultă că pentru o anumită turație de antrenare aplicată arborelui 4, există posibilitatea modificării debitului conform raportului:

$$\frac{Q_{\max}}{Q_{\min}} = 4,85 \quad 4.6$$

valoare ce s-a dovedit absolut suficientă în condițiile acționărilor hidraulice ale mașinilor-unelte asigurând o funcționare cu randament energetic bun. De altfel acest interval de modificare al unghiului α se regăsește cu foarte mici variații la constructorii prestigioși din domeniul echipamentului hidraulic (Rexroth-Manessmann, Bruninghaus etc).

Modificarea poziției unghiulare a ciupercii se realizează aplicând servocomanda la transmisia melcată (7). Roata melcată este lăgăruită radial-axial și prin rotire într-un sens sau altul deplasează axial axul terminat solidar cu

sfera (6) (lăgăruirea în ciupercă) și cărora nu li se permite rotirea. Transmisia melcată este acționată de un microservomotor de curent continuu, tip EA-211 executat în variantă profesională cu rulmenți pentru lăgăruirea arborelui rotorului. Controlul poziției unghiulare a ciupercii se realizează indirect prin controlul poziției axiale a sferei (6), respectiv șurubului, cu ajutorul potențiometrului (9), acesta furnizând semnalul reacției inverse de poziție. O calitate importantă a acestui tip de servocomponent, asupra căreia s-a insistat de fapt la proiectare este puterea mică necesară reglării debitului (aprox. 30W). Totodată pompa a fost concepută și elaborată pentru utilizări în special în comanda adaptivă, motiv pentru care o altă caracteristică esențială este precizia de reglare superioară modelelor la a căror documentație s-a avut acces și aceasta datorită modului de realizare a reacției inverse de la potențiometrul (9). Acesta a fost conceput într-o construcție elicoidală, multitură, cursorul efectuând și el o mișcare elicoidală, cu ajutorul piuliței (10). Întrucât servohidraulica constituie un tot unitar la proiectarea și realizarea modulului electronic de comandă s-au avut în vedere și două aspecte specifice esențiale și anume:

- interacțiunea modulului de comandă cu servocomponentul
- interacțiunea modulului de comandă cu circuitele și blocurile electronice ce furnizează semnalele de intrare.

Construcția servocomponentului și caracteristicile microservomotorului din compunerea sa impun modulului electronic de comandă următoarele cerințe:

- să asigure tensiunea și curentul necesare comandării microservomotorului
- să prezinte caracteristici dinamice mult superioare acestuia pentru a nu introduce defazaje în bucla de reglare
- să controleze prin potențiometrul P poziția unghiulară a ciupercii.
- în caz de defectare a acestui potențiometrul să semnalizeze această stare.
- să nu permită supracomandarea servocomponentului nici chiar în cazul defectării potențiometrului.

Din punct de vedere al semnalelor de intrare, circuitului i se vor impune condiții cunoscute, el trebuind să poată prelucra tensiuni situate în gama de nivele unificate (± 10 V). Aceasta îi va permite practic interconectarea facilă cu o largă gamă de circuite și blocuri electronice. De asemenea dată fiind necesitatea asigurării unei cât mai largi versatilități, modulul s-a conceput astfel încât să poată asigura și comanda altor tipuri de servocomponente acționate

cu microservomotoare electrice, după cum va rezulta în continuare.

4.3 Modul electronic pentru comanda servosupapei cu bobină mobilă și ac

Schema bloc a modului elaborat, realizat și utilizat efectiv pentru comanda servosupapei cu două capete de comandă din figura 4.6 în sistemul de comandă adaptivă a avansului și vitezei la danturare se prezintă în figura 4.16.

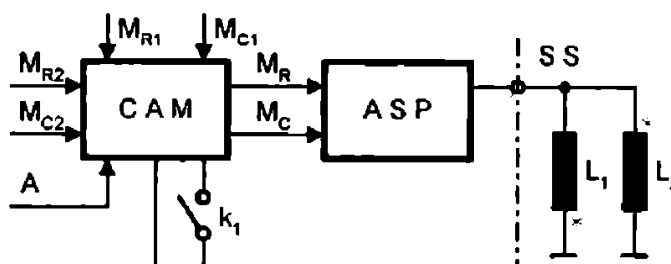


fig.4.16

Semnificația notațiilor este următoarea:

CAM - circuitul pentru alegerea mărimilor

ASP - amplificatorul sumator de putere

SS - servosupapa comandată

L_1, L_2 - bobinele mobile de comandă

M_{C1}, M_{C2}, M_C - mărimile controlate,

M_{R1}, M_{R2}, M_R - mărimile de referință.

Funcționarea modului, conform schemei bloc prezentate, este următoarea:

Circuitul pentru alegerea mărimilor selectează conform comenzii aplicate prin contactul k_1 (care în cazul unei mașini-unelte conduse cu automat programabil este o ieșire a acestuia) perechea mărime controlată - (M_{C1}) - mărime de referință - (M_{R1}) - dorită și o aplică amplificatorului sumator de putere. Acesta comandă servocomponentul (de fapt bobinele sale de comandă) cu o tensiune proporțională cu diferența dintre mărimile M_R și M_C aplicate la intrările sale.

Corespunzător schemei bloc, schema de principiu integrală a modului este cea prezentată în figura 4.17.

4.3.1 Circuitul pentru alegerea mărimilor

Circuitul pentru alegerea mărimilor este realizat în jurul multiplexor-demultiplexorului integrat în tehnologie CMOS -MMC4052. Alegerea mărimilor se realizează cu comutatoarele k_2 (cu acțiune prioritară, plasat pe placa modului) și k_1 . Selectarea perechii mărime controlată - mărime de referință se efectuează conform tabelului 4.1. Prelucrarea și

transmiterea semnalelor către amplificatorul sumator de putere se realizează cu repetoarele operaționale construite cu secțiunile A2/1 și A3/1 ale amplificatorului cuadru integrat CI₁-βM324.

Cu contactul k₃ (care este în cazul mașinilor-unelte actuale este o ieșire a automatului programabil ce conduce ciclul de lucru) se transmite modulului semnalul de inhibare a comenzii, conform aceluiași tabel 4.1. Semnificația semnelui "*" în tabelul 4.1 este cea utilizată în tabelele de adevăr ale funcțiilor logice.

Tabelul 4.1

I	A	M _C	M _R
0	0	M _{C1}	M _{R1}
0	1	M _{C2}	M _{R2}
1	*	0	0

4.3.2 Amplificatorul sumator de putere

Amplificatorul sumator de putere primește la intrări tensiunile corespunzătoare mărimilor de referință și controlate și realizează amplificarea de tensiune (și implicit de putere) necesară comenzii bobinelor mobile ale servocomponentului.

Funcționarea sa în regim cvasistaționar este descrisă de ecuația cunoscută:

$$U_e = (U_C - U_R) \cdot A_U \quad 4.7$$

unde:

$$A_U = \frac{R_{14} + P_2}{R_{13}} = \frac{R_{10} + P_1}{R_9} \quad 4.8$$

Grupurile R₁₁, C₂ și R₁₄, P₂, R₁₃, C₃ implementează caracteristicile de derivare, respectiv integrare ale amplificatorului sumator de putere și cu ele se optimizează comportarea ansamblului servocomponent-modul de comandă în cadrul aplicației concrete considerate. ASP este realizat cu secțiunea A4/1 a amplificatorului cuadru integrat CI₁-βM324, tranzistoarele T₁, T₂, T₃ și T₄ (din care primele de medie putere) și elementele pasive aferente.

Elementele R₁₂ și P₄ sau P₅ se utilizează în cazul în care modulul servește la comanda unei servosupape cu un singur cap de comandă, prin ele furnizându-se servocomponentului curentul pentru poziționarea mediană în repaus a sertarului. Alimentarea etajului final al ASP se realizează de la o pereche de tensiuni V₁₊ și V₁₋ (±8V) obținută prin redresarea bialternanță și filtrarea tensiunii furnizate de o înfășurare

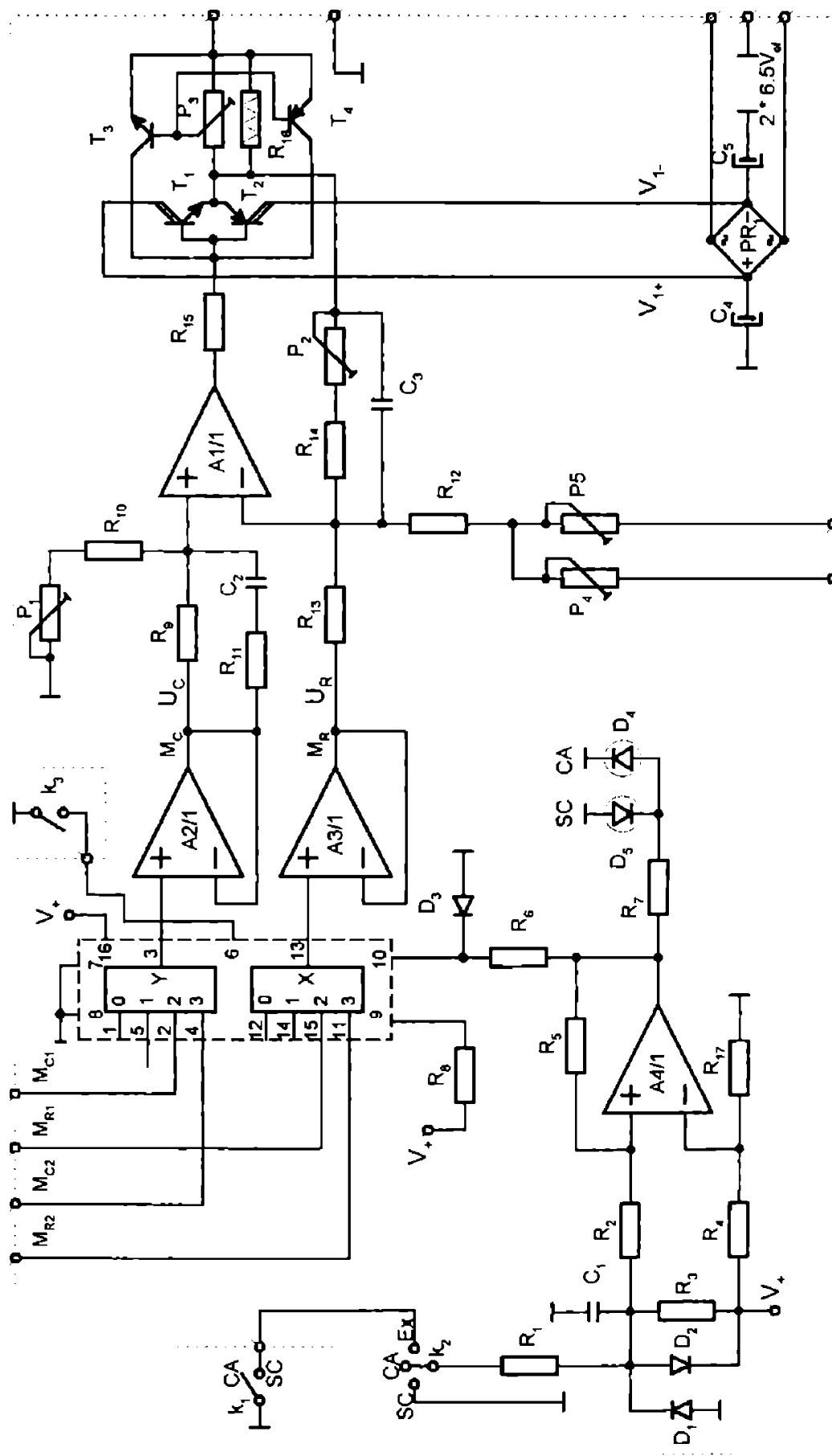


fig.4.17

a transformatorului din compunerea sursei unice a blocului comenzii adaptive (**MSG-2001-K**). Pentru cazul unei utilizări concrete a servocomponetului, /3.10/ -schițată în figura 4.18- perechile $M_{Ri} - M_{Ci}$ servesc pentru a primi mărimi de lucru în regim de comandă adaptivă respectiv în regim de servocomandă, conform corelațiilor:

$$\begin{aligned} M_{C1} &= M_{C,SC} - \text{măr. contr. în regim de servocomandă} \\ M_{C2} &= M_{C,CA} - \text{măr. contr. în regim de c-dă adaptivă} \\ M_{R1} &= M_{R,SC} - \text{măr. de ref. în regim de servocomandă} \\ M_{R2} &= M_{R,CA} - \text{măr. de ref. în regim de c-dă adaptivă} \end{aligned}$$

Exemplul de montaj prezentat este parte dintr-un sistem de comandă adaptivă a vitezei de aşchiere la danturarea cu

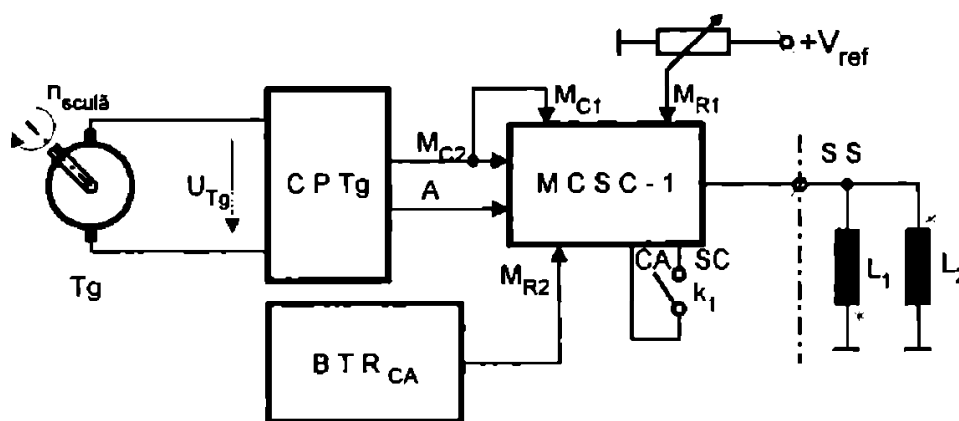


fig.4.18

freză melc-cilindrică. Din figură se deduce cu ușurință modul de funcționare. Indiferent că sistemul funcționează în regim de comandă adaptivă - **CA** sau în regim de servocomandă - **SC**, turația arborelui sculei constituie mărimea controlată. Mărimile de referință sunt furnizate respectiv de blocul pentru turația de referință -**BTR_{CA}**- la funcționarea în regim de comandă adaptivă și potențiometrul pentru turația de referință -**P_{TSC}**- în regim de servocomandă. Funcție de poziția comutatorului regimului de lucru -**k₁**, servocomandă sau comandă adaptivă, modulul alege perechea mărime controlată - mărime de referință corespunzătoare și comandă servosupapa cu două capete de comandă în sensul realizării în regimul dinamic al aşchierii a egalității mărimilor menționate. Acestea sunt reprezentate în sistem prin tensiuni continue de valori proporționale. Comportarea modulului este descrisă complet de răspunsul la semnal dreptunghiular prezentat în figura 4.19.

Pentru evidențierea comportării modulului în cadrul sistemului de comandă adaptivă prezentat în figura 4.18 se prezintă în figura 4.20 răspunsul acestuia (variația turației sculei) la un semnal dreptunghiular alternativ.

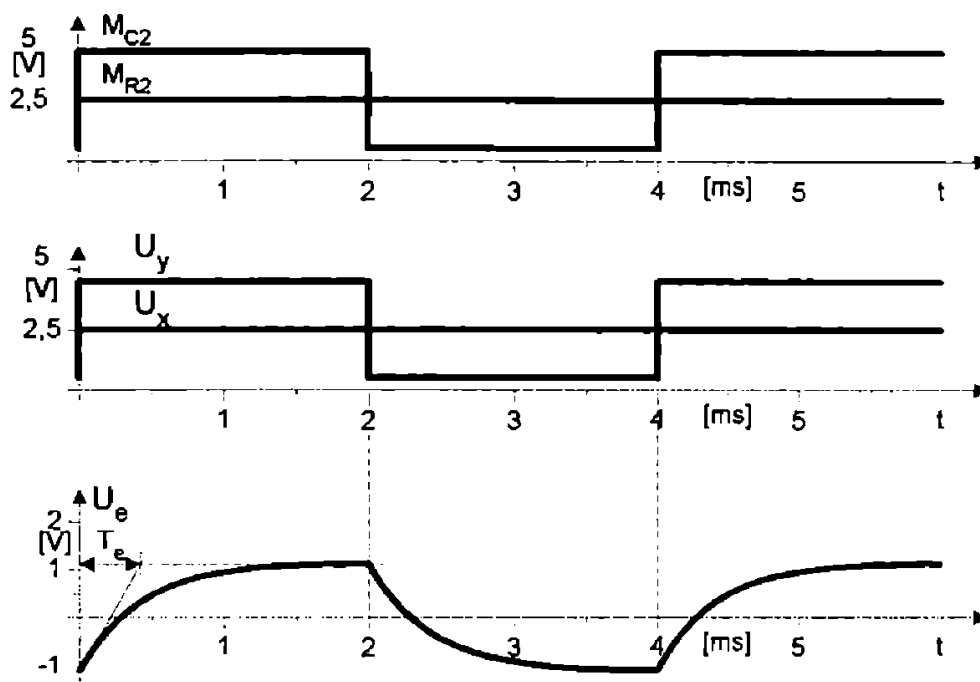


fig.4.19

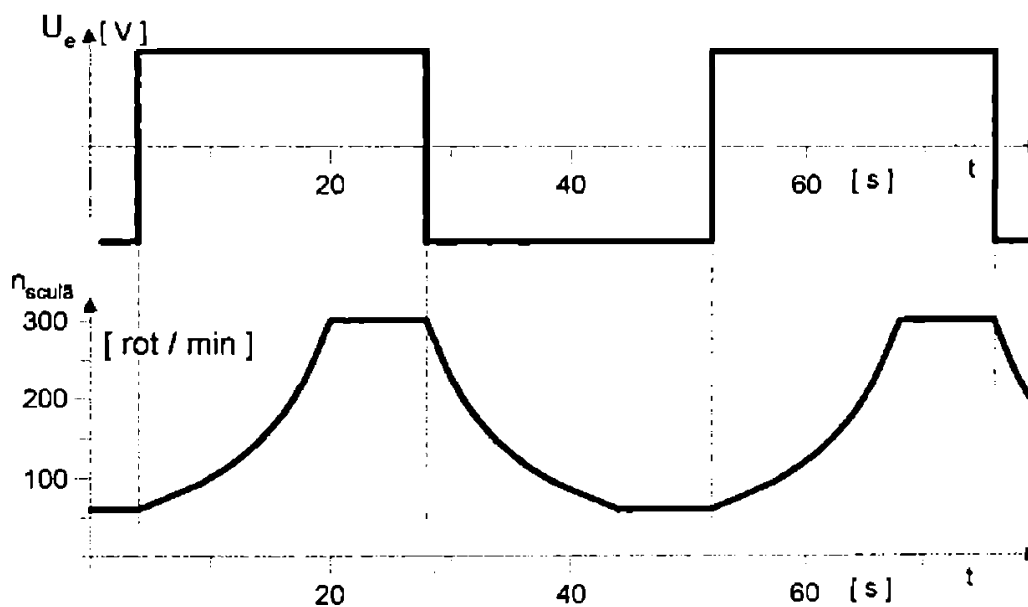


fig.4.20

Încercările efectuate asupra modului de comandă în cadrul sistemului de comandă adaptivă în care a fost inclus, /3.10/, au evidențiat câteva aspecte remarcabile, demne de menționat și anume:

- operând doar asupra elementelor de reglaj și ajustare ale modului s-a reușit obținerea funcționării optime a servocomponentului.
- selectarea perechii *mărime controlată - mărime de referință* se produce în condiții de siguranță, fiabilitate și precizie incomparabil superioare celor obținute cu

elemente de comutație cu contacte, datorită proprietăților remarcabile ale multiplexorului CMOS în astfel de tipuri de aplicații.

- regim de lucru lejer al componentelor (chiar în caz de scurtcircuit accidental la ieșire), de natură a asigura o fiabilitate foarte bună a modulului.

- gradul de insensibilitate al comenzii adaptive s-a putut regla la valoarea optimă doar prin intervenție asupra modulului electronic.

- simplitatea constructivă remarcabilă a modulului în raport cu performanțele ce le oferă, evident în asociere cu servosupapa căreia îi este dedicată.

4.4 Modul electronic pentru comanda servopompei reglabile și a servosupapei-releu

4.4.1 Cerințe impuse și adoptarea schema bloc a modulului

Din examinarea construcției servosupapei-releu, /4.7/, se constată câteva similitudini favorabile cu pompa reglabilă (ce poate funcționa conform principiului reversibilității și ca hidromotor reglabil) realizată în cadrul Colectivului de mașini-unelte și prezentată în paragraful 4.3 și anume:

- ambele sunt acționate de un micromotor de curent continuu

- poziția elementului ce determină valoarea reglată a mărimii de ieșire (debit la pompă) și presiune la servosupapă) este controlată cu un potențiomtru traductor (conceput și realizat pentru o durată mare de funcționare, cu frecare de rostogolire).

- depășirea unor limite extreme admise este sesizată cu microîntrerupătoare cu contact galvanic (înlocuite în variantele noi cu senzori magnetici integrați).

Date fiind cele arătate apare ca evidentă soluția utilizării aceluiași modul de comandă pentru pompa reglabilă și pentru servosupapa-releu, care să poată valorifica integral performanțele servocomponentelor în orice tip de aplicație în general și în sistemele de comandă adaptivă în special.

Sintetizând cele prezentate în paragrafele anterioare rezultă cerințele care s-au impus la concepția și realizarea acestui modul de comandă. Aceste cerințe sunt determinate așa cum se observă de structura servocomponentelor ce urmează a fi controlate și comandate și de semnalele de intrare ce se aplică modulului de la celelalte elemente ale sistemului de comandă adaptivă. Totodată la conceperea și realizarea modulului s-a avut în vedere necesitatea obținerii unui ansamblu unitar servocomponent - modul electronic de comandă cu performanțe superioare, care să poată fi încadrat cât mai simplu într-un sistem de comandă adaptivă sau alt sistem de reglare,

să ofere performanțe cât mai bune și versatilitate cât mai largă. Aceasta întrucât firmele prestigioase producătoare de aparatură electrohidraulică oferă pentru fiecare servocomponent (grup de servocomponente) blocul electronic de comandă adecvat.

Conform acestor considerații și concluziilor ce sintetizează cerințele modulului de comandă pentru pompă reglabilă și servosupapă-relevu acesta trebuie să aibă o schemă bloc ca cea prezentată în figura 4.21.

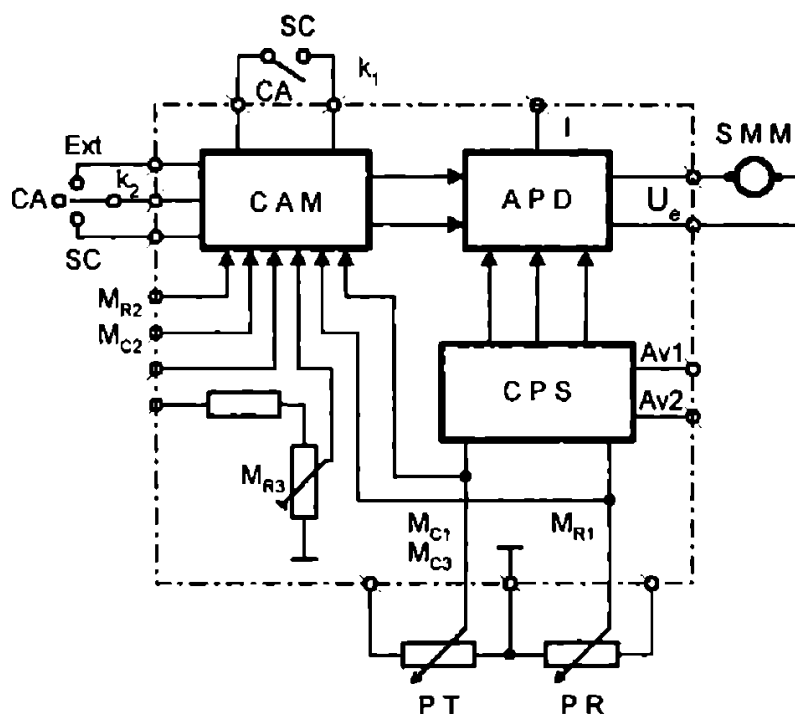


fig.4.21

Semnificația notațiilor utilizate este următoarea:

APD - amplificatorul de putere diferențial

CAM - circuitul pentru alegerea mărimilor

CPS - circuitul de protecție și semnalizare

Pentru evidențierea modului de funcționare schema bloc a fost prezentată în conexiune cu servocomponentul (reprezentat prin potențiometrul traductor - PT și microservalomotorul SMM) în cazul unei aplicații concrete și anume sistemul de comandă adaptivă al mașinii de superfinisat.

Trebuie să se precizeze un aspect esențial care ține de tehnica comenzii servocomponentelor prezentate și anume că printr-o convenție nescrisă dar cunoscută și acceptată se adoptă ca pozitiv acel sens al tensiunii de ieșire (notat în figurile 4.18 și 4.21) care determină creșterea valorii mărimii controlate $M_{C,i}$ (a oricăreia și a tuturor). Funcție de poziția comutatoarele k_1 , k_2 și de algoritmul implementat și prezentat în tabelul 4.2. circuitul pentru alegerea mărimilor selectează o pereche mărime de referință $M_{R,i}$, mărime contro-

lată $-M_{Ci}$ (din cele trei posibile) și o transmite la intrările amplificatorului de putere diferențial. Acesta, funcție de semnul diferenței dintre mărimile perechii selectate:

$$\Delta M = M_{Ci} - M_{Ri} \quad 4.10$$

și exprimate prin valori de tensiuni, va alimenta microservo-motorul astfel încât servocomponentul să fie comandat în sensul reducerii diferenței menționate. Mărimile controlate M_{Ci} și mărimile de referință M_{Ri} sunt furnizate de blocuri electronice specializate sub formă de tensiuni, prezentarea lor nefăcând obiectul acestui capitol. În alte capitole ale acestei teze și în lucrări publicate ale autorului sunt prezentate asemenea blocuri, specifice sistemelor de comandă adaptivă și de protecție a sculelor. În ce privește alegerea mărimii de referință (și implicit a celei controlate) ea este o problemă a cărei soluție este determinată de tipul specific și particularitățile prelucrării precum și de mașina-unealtă pe care aceasta se efectuează. Dacă servohidraulica este din punctul de vedere al servocomponentului, circuitului de comandă și tehnicii de reglare un tot unitar atunci cu atât mai mult fiecare sistem de comandă adaptivă reprezintă prin sine și în conexiunea cu mașina-unealtă și procedeul de prelucrare un tot unitar și specific, care solicită și impune o abordare în consecință.

4.4.2. Circuitul pentru alegerea mărimilor

Așa cum a rezultat din prezentarea schemei bloc acest circuit selectează perechea mărime controlată - mărime de referință ce urmează a fi aplicată amplificatorului de putere diferențial, conform algoritmului comenzii adaptive.

Tabelul 4.2

A	B	$M_R(U_x)$	$M_C(U_y)$	$A = k_{2,2} + k_{2,ex} = \overline{k_{2,1}} \cdot k_{1,2}$ $B = \begin{cases} 1 & \text{dacă } M_C < n \cdot M_R \\ 0 & \text{dacă } M_C > n \cdot M_R \end{cases}$ $n = \text{coef. subunitar}$
0	0	M_{R1}	M_{C1}	
0	1	M_{R3}	M_{C3}	
1	0	*		
1	1	M_{R2}	M_{C2}	

Modulul a fost astfel proiectat încât să asigure comanda servocomponentului într-o schemă de reglare independentă sau într-un sistem de comandă adaptivă cu algoritm complex. Pentru aceasta structura sa trebuie să corespundă cazului cel

mai complex de algoritm în care selectarea se face din trei perechi posibile, întâlnit în comanda adaptivă la superfinisare și prezentat în tabelul 4.2. Pentru implementarea acestuia s-a adoptat pentru circuitul pentru alegerea mărimilor schema de principiu din figura 4.22. Circuitul primește la intrare semnalele:

- U_{101} de la comutatorul k_2 .
- M_{C1}, M_{C2}, M_{C3} ($M_{C3} = M_{C1}$) - mărimi controlate „prezentate” ca tensiuni în intervalul $(0 \div 10) \text{ V}$.
- M_{R1}, M_{R2}, M_{R3} - mărimi de referință „prezentate” tot sub formă de tensiuni, în intervalul $(0 \div 10) \text{ V}$.
și furnizează la ieșire semnalele:
- M_R (U_x) și M_C (U_y) - referință și mărime controlată selectate și transmise la amplificatorul de putere diferențial.

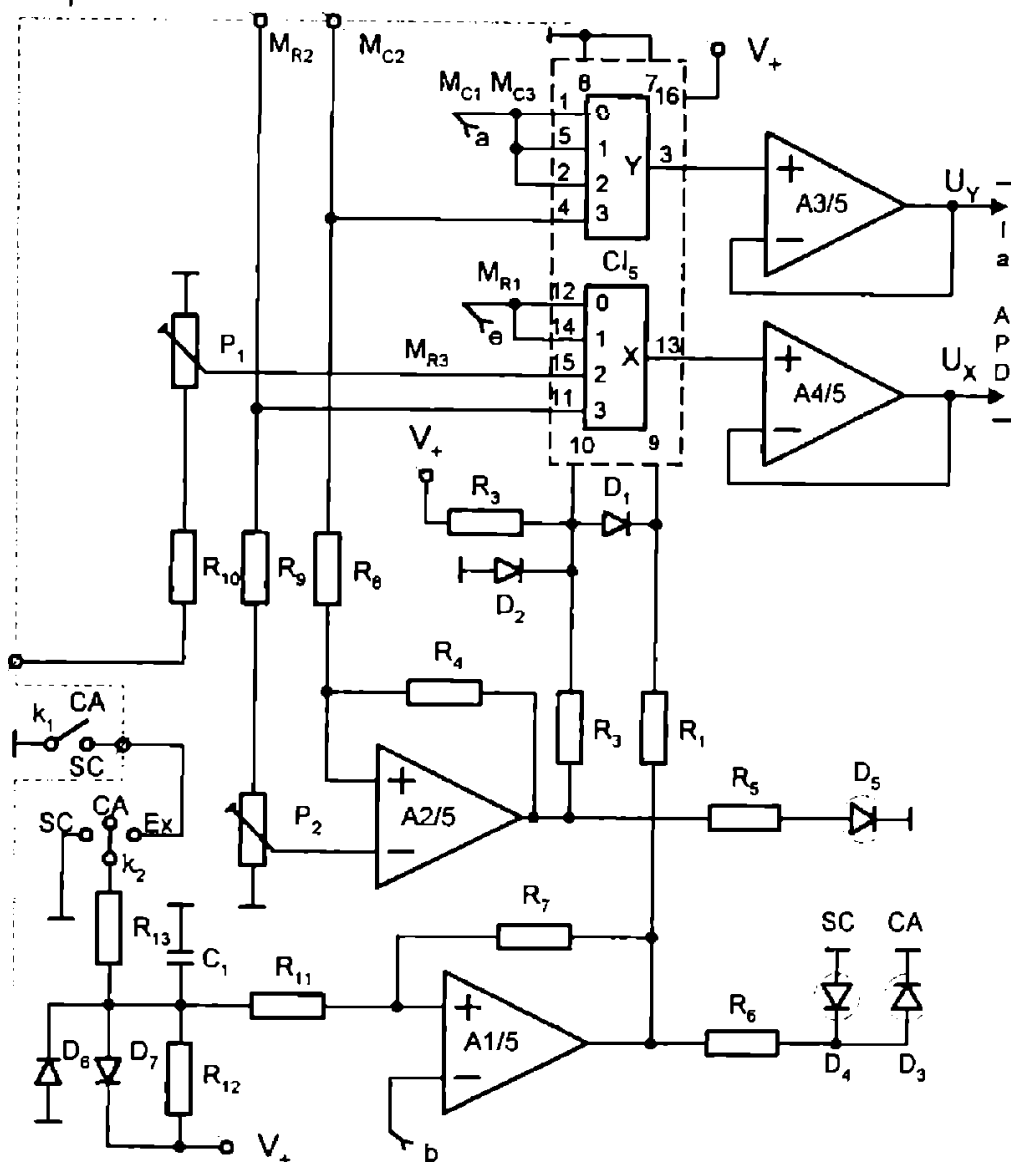


fig.4.22

Circuitul este configurat în „jurul” multiplexorului (demultiplexor) diferențial cu 4 canale, monolitic integrat în tehnologie CMOS - tip MMC4052. Alegerea acestui tip de multiplexare (selectare) a mărimilor ce urmează să fie aplicate amplificatorului de putere diferențial prezintă față de variantele tradiționale (cu contact galvanic) avantajele unui gabarit de câteva ori mai mic și al unei fiabilități mult mai bune, fără a necesita întreținere. În plus comanda multiplexorului integrat realizat în tehnologie CMOS se realizează în tensiune, fără consum și disipare de putere.

Secțiunea A1/3 a amplificatorului cuadruplu integrat CI₃-βA 324 furnizează semnalul de comutare **B** pentru comanda multiplexorului. Semnalul de comutare **A** este furnizat de secțiunea A2/3 a aceluiași amplificator cuadruplu integrat. Celelalte două secțiuni ale circuitului integrat menționat, conectate în montaj de repetor anulează efectele valorilor finite ale rezistenței canalului în conducție- R_{ON} (al multiplexorului) și ale rezistenței de intrare a amplificatorului de putere diferențial, asigurând transferarea integrală spre acesta din urmă a semnalelor aplicate la intrările sale și selectate conform codului binar determinat de semnale logice **A** și **B**. Coeficientul subunitar n se adoptă din considerente tehnologice, ținând seamă de ansamblul unitar *procedeu de prelucrare-mașină-unealtă-sculă*.

Notăția “*” semnifică faptul că schema de principiu în care este conectat multiplexorul nu permite această combinație pentru A și B. În ce privește notațiile de tipul $k_{i,j}$ semnificația lor este că dacă comutatorul k_i se află în poziția j , semnalul logic ce i se asociază este **1 LOGIC**.

4.4.3 Amplificatorul de putere diferențial

Acest circuit este cel care trebuie să asigure semnalul cu puterea necesară pentru comanda microservomotorului din compunerea servocomponentului. La proiectarea sa s-au avut în vedere criteriile rezultate pe de-o din experiența Colectivului de mașini-unelte iar pe de-altă parte din condițiile generale impuse acestui modul /2.13/, /3.9/, /3.11/, /4.6/, /4.7/ și anume:

- amplificarea trebuie să fie reglabilă în limite largi, în trepte și continuu în limite mai restrânse pentru obținerea valorii optime a sensibilității comenzii adaptive la utilizarea servocomponentului pe diferite tipuri de mașini-unelte, la anumite procedee de prelucrare
- alimentarea trebuie să se realizeze de la tensiunea de **+ 24 V** prezentă practic la toate mașinile-unelte
- amplificarea de tensiune trebuie să fie independentă de sarcină (micromotor în cazul nostru), pentru obținerea unor performanțe superioare și a unei comportări

ușor modelabile conform cerințele concrete ale procesului tehnologic.

- să fie protejat împotriva avariei prin disipație termică exagerată sau supracurent în cazul calării accidentale a microservomotorului

- să protejeze și microservomotorul în cazul calării accidentale a acestuia

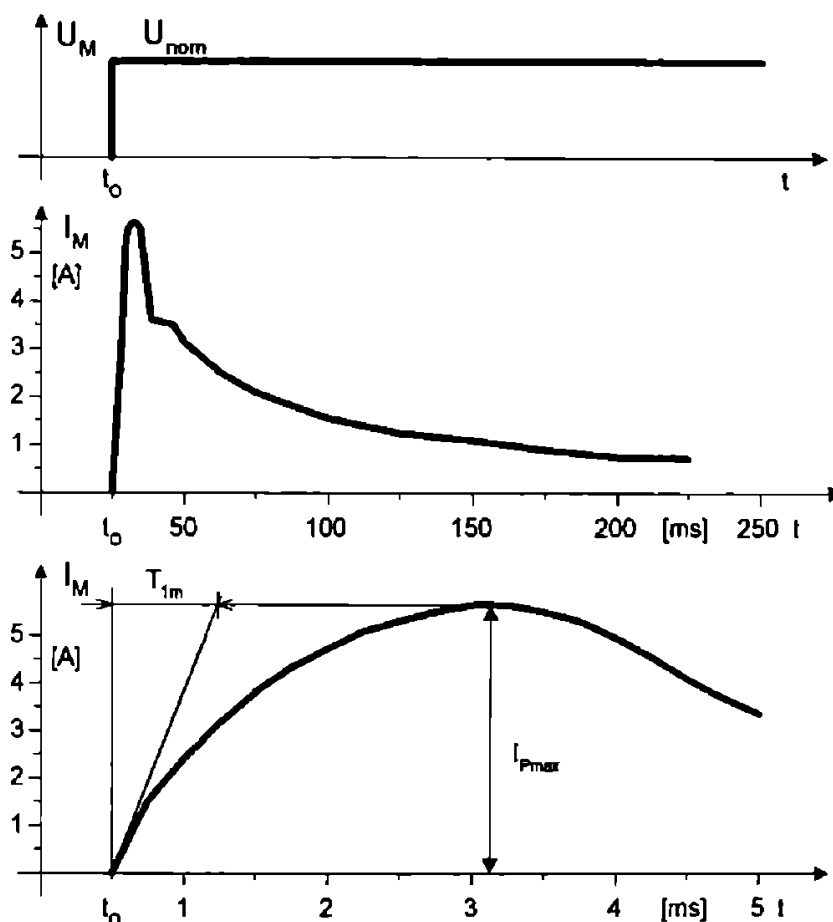


fig.4.23

Caracteristicile de răspuns ale microservomotorului la excitație treaptă de tensiune trasate în cursul experimentărilor efectuate cu ocazia proiectării și testării circuitului sunt prezentate în figura 4.23.

Curbele au fost trasate pentru servomotorul tip EA-211 din componerea servosupapei-relevu prezentate, în sarcină nominală. Față de cele mai sus expuse s-a adoptat pentru amplificatorul de putere schema de principiu din figura 4.25.

Din examinarea ei se observă că etajul de ieșire este realizat în punte, cu patru tranzistoare de putere, pentru a putea comanda microservomotorul în ambele sensuri, utilizând o singură sursă de alimentare, cea disponibilă pe mașina-unealtă (+24 V -tensiune redresată).

Ansamblul format din secțiunile A1/1 și A2/1 ale amplificatorului operațional cuadruplu integrat CI₁-βM324, tranzis-

toarele T₁ și T₂ și etajul de ieșire în punte se comportă ca un amplificator operațional de putere cu ieșire diferențială. Reacția negativă este realizată cu secțiunea A4/1 a aceluiași circuit integrat CI₁. Pentru calcule schema poate fi reprezentată, ca în figura 4.24, putându-se verifica că amplificarea este independentă de sarcină și caracteristicile elementelor active.

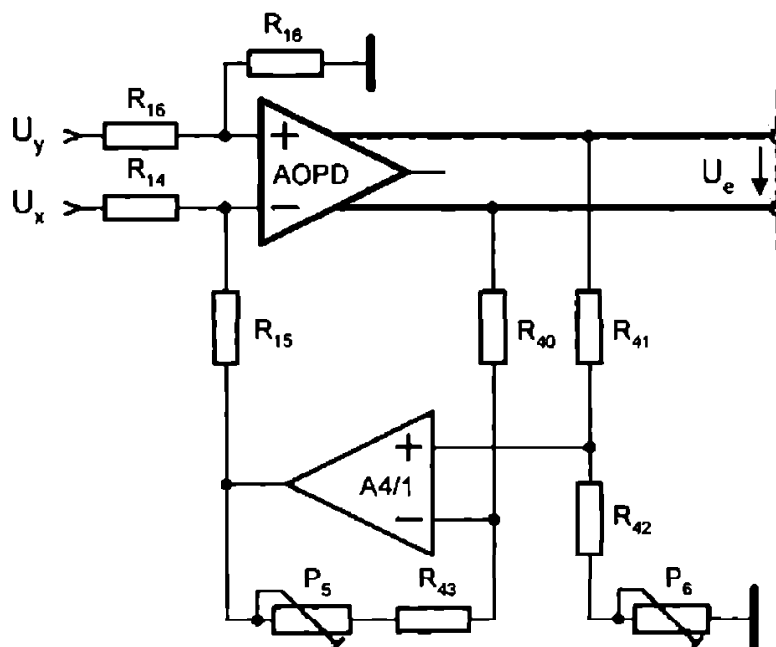


fig.4.24

AOPD - amplificatorul operațional de putere diferențial

Conform celor expuse la paragraful dedicat prezentării funcționării modulului conform schemei bloc, tensiunea la ieșirea amplificatorului de putere diferențial trebuie să fie proporțională cu diferența:

$$\Delta M = M_{Ci} - M_{Ri} = M_C - M_R \quad 4.11$$

exprimată prin diferența tensiunilor aplicate la intrările sale:

$$\Delta U = U_y - U_x \quad 4.12$$

adică să fie de forma:

$$U_e = A_U \cdot (U_y - U_x) \quad 4.13$$

$$\left(U_y \cdot \frac{R_{18}}{R_{16} + R_{18}} - \frac{U_x \cdot R_{15} + U_r \cdot R_{14}}{R_{14} + R_{15}} \right) \cdot A_{u\infty} = U_e \quad 4.14$$

unde:

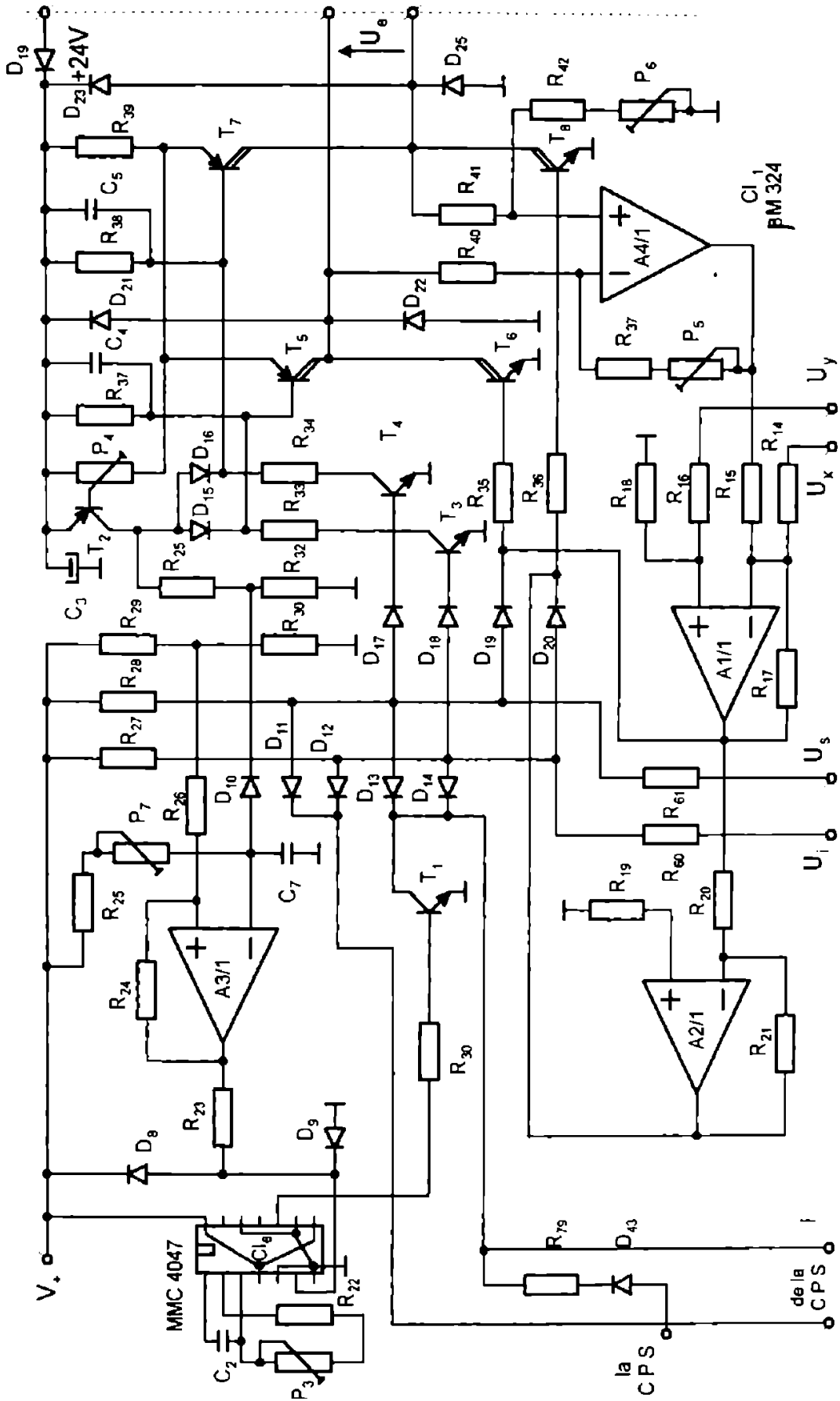


fig. 4.25

$A_{u\infty}$ - amplificarea de tensiune, practic infinită a AOPD.

Dacă se asigură:

$$\frac{R_{40}}{R_{43} + P_5} = \frac{R_{41}}{R_{42} + P_6}, \quad 4.15$$

ținând seamă de faptul că:

$$U_r = U_e \cdot \frac{R_{43} + P_5}{R_{40}} \quad 4.16$$

rezultă:

$$\left(U_y \cdot \frac{R_{18}}{R_{16} + R_{18}} - U_x \cdot \frac{R_{15}}{R_{14} + R_{15}} \right) \cdot A_{u\infty} = U_e \cdot \left(1 + \frac{R_{14}}{R_{14} + R_{15}} \cdot \frac{R_{43} + P_5}{R_{40}} \cdot A_{u\infty} \right)$$

Pentru realizarea relației 4.13, impusă de specificul comenzii adaptive, este necesar ca:

$$\frac{R_{18}}{R_1 + R_{18}} = \frac{R_{15}}{R_{14} + R_{15}} \quad \text{adică} \quad \frac{R_{16}}{R_{18}} = \frac{R_{14}}{R_{15}} \quad 4.17$$

$$U_e = \frac{R_{15}}{R_{14}} \cdot \frac{R_{40}}{R_{43} + P_5} \cdot (U_y - U_x) \quad 4.18$$

Rezultă că amplificarea de tensiune a amplificatorului de putere diferențial, având valoarea:

$$A_U = \frac{R_{15}}{R_{14}} \cdot \frac{R_{40}}{R_{43} + P_5} \quad 4.19$$

este independentă de sarcină (atâta timp cât nu acționează protecția la suprasarcină sau la putere disipată) și reglabilă în trepte și continuu prin operare **numai** asupra elementelor R_{40} , R_{43} , P_5 .

Ansamblul *servocomponent - modul electronic de comandă* a fost conceput și realizat ținând seama de cerințele unor comenzi adaptive, dar poate funcționa și într-un circuit de reglare independent. În ambele cazuri dar mai cu seamă în primul este utilă stabilirea unei corelații între un parametru important al comenzii adaptive, *gradul de insensibilitate*, determinat din considerente tehnologice și amplificarea de tensiune a amplificatorului de putere diferențial - dată de relația 4.19.

Analog definiției sensibilității și gradului de insensibilitate date în /2.13/ și pentru comenzile adaptive ce au în compunere o pompă reglabilă sau o servosupapă ce utilizează pentru comandă modulul ce face obiectul prezentării de față se poate defini gradul de insensibilitate, printr-o relație de forma:

$$\delta = \frac{2 \cdot \Delta U}{U_{m,n}} \quad 4.20$$

unde:

$\Delta U = (U_y - U_x)_{m,n}$ - diferența minimă necesară dintre mărimea controlată și cea de referință care aplicată amplificatorului de putere diferențial determină comanda servocomponentului. Valoarea ei depinde de caracteristicile procesului de prelucrare controlat prin comanda adaptivă de parametri concreți ai mașinii-unelte, sculei, etc.

$U_{m,n}$ - tensiunea minimă necesară microservomotorului pentru a ieși din repaus și a putea acționa elementele de reglaj ale servocomponentului.

Experimental s-a constatat că pentru încărcările maxime ale servocomponentelor $U_{m,n}$ are valorile:

$$\begin{aligned} U_{m,n} &= 15,5 \text{ V} && \text{- la servosupapă} \\ U_{m,n} &= 17 \text{ V} && \text{- la pompă reglabilă} \\ U_{m,n} &= 14,5 \text{ V} && \text{- la servoreglator} \end{aligned} \quad 4.21$$

Conform definiției gradului de insensibilitate și ținând cont de 4.19 se obține:

$$\delta = \frac{2}{A_U} = 2 \cdot \frac{R_{14}}{R_{15}} \cdot \frac{R_{43} + P_5}{R_{40}} \quad 4.22$$

Această relație ce exprimă legătura între o caracteristică intrinsecă, deosebit de importantă a comenzii adaptive (δ) și un parametru esențial al amplificatorului de putere diferențial (A_U), constituie relația **prioritară** de dimensionare a elementelor ce determină amplificarea de tensiune A_U , după cum urmează:

Din motive de simplitate, se adoptă:

$$R_{14} = R_{15} = R_{16} = R_{18} \quad , \quad 4.23$$

Ținând seama și de necesitatea respectării relației 4.15 rezultă:

$$\delta = 2 \cdot \frac{R_{40}}{R_{43} + P_5} = 2 \cdot \frac{R_{41}}{R_{42} + P_6} \quad 4.24$$

Prin urmare modificarea sensibilității (gradului de insensibilitate) se realizează în trepte prin schimbarea valorii a două rezistențe din „cvartetul” R_{40} , R_{41} , R_{42} , R_{43} (cu respectarea aceleiași relații 4.15) și continuu prin reglarea semi-reglabilelor P_5 și P_6 .

O parte deosebit de importantă a amplificatorului de putere diferențial o constituie circuitele care asigură protecția la supracurent și la putere disipată. De asemenea dată fiind configurația în punte a etajului de ieșire s-a considerat ca necesară și protecția împotriva scurtcircuitării accidentale la masă a uneia din bornele de ieșire sau a amândurora. Deși așa cum se va observa schema nu este prea simplă față de soluțiile clasice cu limitare de curent (cu sau fără întoarcere), cunoscute din literatura de specialitate ea are două calități esențiale și care nu se regăsesc la cele cunoscute din literatură:

- fiabilitate deosebit de ridicată, datorită regimului de lucru „ultralejer” al componentelor.

- în cazul unui scurtcircuit între o ieșire (sau ambele) și masă sau al calării microservomotorului apare o funcționare intermitentă cu factor de umplere foarte mic care face ca tranzistoarele etajului final și radiatoarele lor să nu trebuiască a fi supradimensionate, în condițiile păstrării fiabilității. *Aparent paradoxal*, regimul de scurtcircuitare accidentală la masă a uneia dintre bornele de ieșire (sau a amândurora) ca și cel determinat de calare sunt mult mai lejere pentru etajul final și chiar pentru microservomotor decât funcționarea în regim normal.

Protecția se bazează pe următoarele observații reieșite din analiza diagramei de răspuns $i_M = f(t)$ prezentată în figura 4.23.

1. În regim staționar, pentru sarcina maximă curentul prin microservomotor nu a depășit valoarea $I_M = 1,3 \text{ A}$.

2. Regimul tranzitoriu durează aproximativ $T_1 = 200 \text{ ms}$ din care doar 2,5%, adică $T_2 = 5 \text{ ms}$ se caracterizează printr-un curent absorbit mai mare de 3,5 A.

Din dorința reducerii vârfului de curent la pornire și a limitării instantanee a curentului în caz de scurtcircuit net între ieșiri (sau între o ieșire și masă) s-a determinat experimental curba de variație a turației servomicromotorului alimentat cu tensiunea nominală, cu limitarea de curent (la valoarea $I_1 = 4\text{A}$) conectată, prezentată în figura 4.26. La trasarea curbei s-a utilizat montajul experimental din figura 4.27. Concluzia ce se desprinde din examinarea celor două răspunsuri (cu și fără limitare) este că limitarea curentului

la valoarea indicată $I_1 = 4 \text{ A}$ nu afectează cu nimic durata de accelerare a microservomotorului.

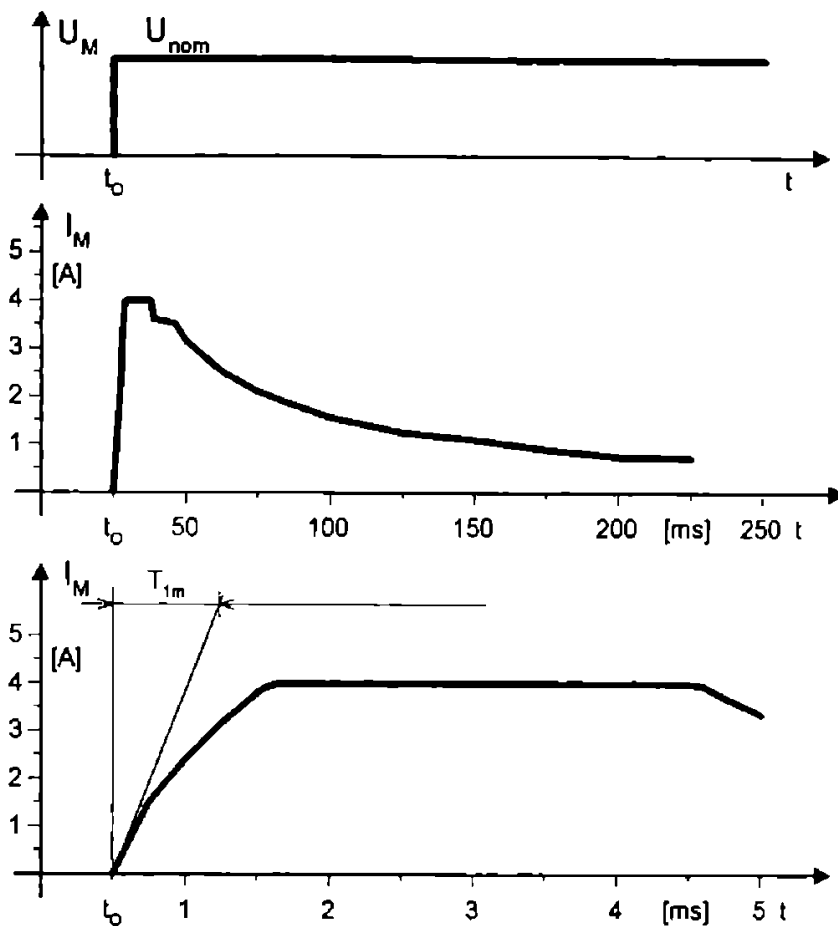


fig.4.26

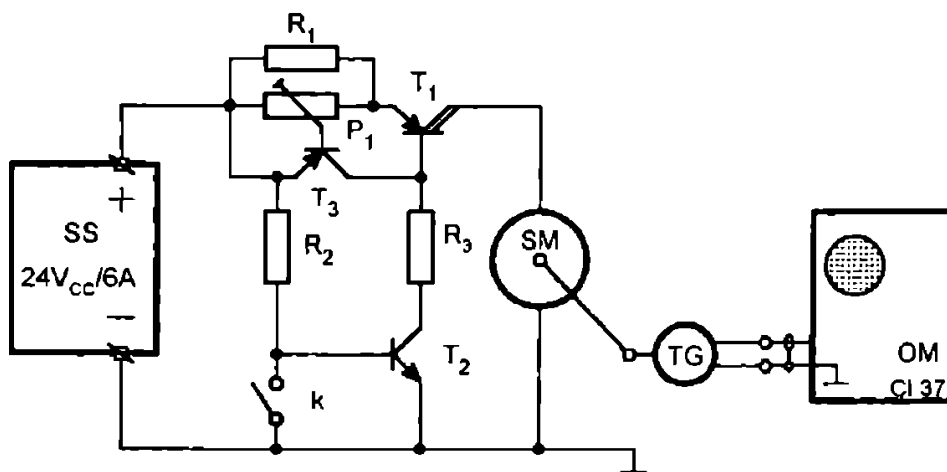


fig.4.27

Înseamnă că introducerea unei limitări instantanee a curentului furnizat de etajul de ieșire nu va afecta caracteristicile dinamice ale ansamblului *servocomponent-modul electronic de comandă*, ea fiind absolut necesară pentru protecția la

scurtcircuite accidentale de scurtă durată. Această funcție este realizată cu ajutorul elementelor R_{31} , P_4 , T_2 , D_{15} , D_{16} . Dar această protecție nu ar fi însă suficientă în cazul unui scurtcircuit de durată sau al calării microservomotorului, întrucât puterea disipată maximă pe un tranzistor ar putea fi:

$$P_{d,\max} = U_{CE,\max} \cdot I_L = (U_o - R_b \cdot I_L) \cdot I_L \cong 27,4 \text{ W} \quad 4.25$$

Disiparea acestei puteri în condițiile menținerii unei fiabilități acceptabile a modulului ar necesita o supradimensionare exagerată, inutilă și costisitoare a etajului de putere. Pentru evitarea acestui neajuns s-a folosit concluzia observației 2. referitoare la diagrama $i_M = f(t)$ din figura 4.23 și anume că dacă curentul absorbit de servomotor depășește valoarea limită reglată (în cazul nostru $I_L = 4A$, fiind însă posibil așa cum se observă și adoptarea altor valori) pentru un interval de timp care se va numi timp de supraveghere, notat T_3 și mai mare decât T_2 este sigur că microservomotorul este calat sau există un scurtcircuit la ieșire (între borne sau între o bornă și masă). În acest caz circuitul format din monostabilul integrat în tehnologie CMOS -CI₅-MMC4047, secțiunea A4/1 a amplificatorului cuadruplu integrat CI₁-βM324, T_1 și componentele pasive aferente lansează o temporizare notată T_4 pe durata căreia se blochează etajul final. Durata acestei temporizări nu este critică dar trebuie să îndeplinească totuși două condiții:

- să fie suficient de mare pentru ca puterea medie disipată de etajul final să nu impună supradimensionarea tranzistoarelor și/sau radiatoarelor sale.
- să nu fie prea mare, perturbând astfel funcționarea modulului în cazul unui scurtcircuit de scurtă durată, adică:

$$T_{\min} \leq T_4 \leq (1 \div 1,5) \text{ s} \quad 4.26$$

T_{\min} se va determina din condiția ca în regim calat puterea disipată pe microservomotor să fie o fracțiune din cea în sarcina nominală, întrucât în această stare datorită imobilității și răcirii este mai anevoioasă.

Se știe că puterea disipată este dată de relația:

$$P_d = \frac{1-\eta}{\eta} \cdot P_u \quad 4.27$$

unde:

η - randamentul microservomotorului ce echipează servosupapa - releu și pompa reglabilă (EA - 211).
Conform datelor de catalog valoarea puterii disipate va fi:

$$P_d = 6 \text{ W} \quad 4.28$$

În stare calată din punctul de vedere al disipației termice microservomotorul se comportă practic ca o rezistență ohmică egală cu cea a bobinajului său. Pe perioada T_3 (când acționează doar limitarea instantanee de curent) puterea disipată (alimentarea fiind continuă) este:

$$P_{d,c} = I_L^2 \cdot R_b = 16 \cdot 4,28 = 68,5 \text{ W} \quad 4.29$$

Valoarea medie a puterii disipate în stare calată, în condițiile condițiilor funcționării protecției, este:

$$P_{d,c,m} = P_{d,c} \cdot \frac{T_3}{T_3 + T_4} \quad 4.30$$

și trebuie să fie mai mică decât o fracțiune din puterea disipată în funcționare normală, dată de relația 4.28.

$$P_{d,c} \cdot \frac{T_3}{T_3 + T_4} \leq k \cdot P_d \quad 4.31$$

Rezultă valoarea minimă necesară a raportului $\frac{T_4}{T_3}$:

$$\left. \frac{T_4}{T_3} \right|_{\min} = \frac{P_{d,c} - k \cdot P_d}{k \cdot P_d} \quad 4.32$$

Alegând valorile acoperitoare:

$$T_3 = 20 \text{ ms} \quad k = 0,8 \quad 4.33$$

valoarea minimă a duratei T_4 care îndeplinește condiția 4.32 este:

$$T_{4,\min} = 265 \text{ ms} \quad 4.34$$

adoptându-se valoarea :

$$T_4 = 280 \text{ ms} \quad 4.35$$

Cu aceste valori, maximele puterilor medii disipate în situațiile cele mai defavorabile pe un tranzistor (cînd modulul are o bornă de ieșire sau ambele în scurtcircuit la masă) respectiv pe microservomotorul calat, sunt:

$$P_{d,m,T} = P_{d,max} \cdot \frac{T_3}{T_3 + T_4} \cong 1,82 \text{ W}$$

4.36

$$P_{d,m,M} = P_{d,c} \cdot \frac{T_3}{T_3 + T_4} \cong 4,57 \text{ W}$$

valori deosebit de lejere pentru etajul final și pentru microservomotor, considerate chiar pentru funcționarea în condițiile termice destul de severe ale halelor industriale.

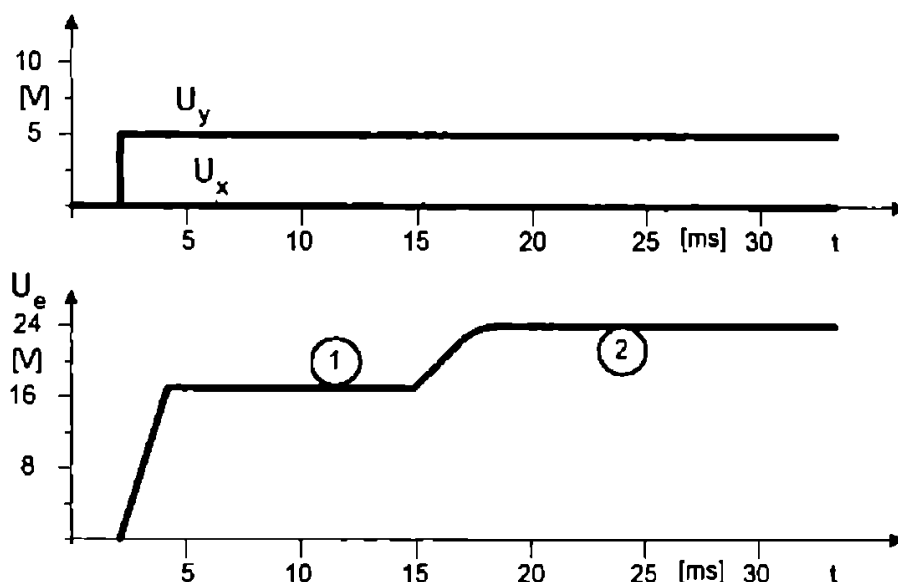


fig.4.28

Conform [4.4] și [4.5] T_3 și T_4 sunt date respectiv de relațiile:

$$T_3 = (R_{25} + P_7) \cdot C_7 \cdot \ln \frac{V_{TR}}{V_{DD} - V_{TR}}$$

4.37

$$T_4 = 2,48 \cdot (R_{22} + P_3) \cdot C_2$$

Pentru calcule practice considerând-se $V_{TR} = \frac{V_{DD}}{2}$, relația de calcul a duratei T_3 devine:

$$T_3 = (R_{25} + P_7) \cdot C_7 \cdot \ln 2 = 0,693 \cdot (R_{25} + P_7) \cdot C_7$$

4.38

Utilizând relațiile de mai sus se obține legătura de dimensionare între duratele T_3 și T_4 pe de-o parte, stabilite din considerente tehnologice și funcționale și valorile numerice ale componentelor din structura modului electronic de comandă care le determină pe de-altă parte. Comportarea amplificatorului de putere diferențial este descrisă complet de câteva diagrame trasate experimental reprezentând variațiile tensiunii și curentului de ieșire cu microservomotorul calat prezentate în figura 4.29.

Printr-un semnal logic de tip contact furnizat de automatul programabil (AP) sau alt bloc electronic ce conduce

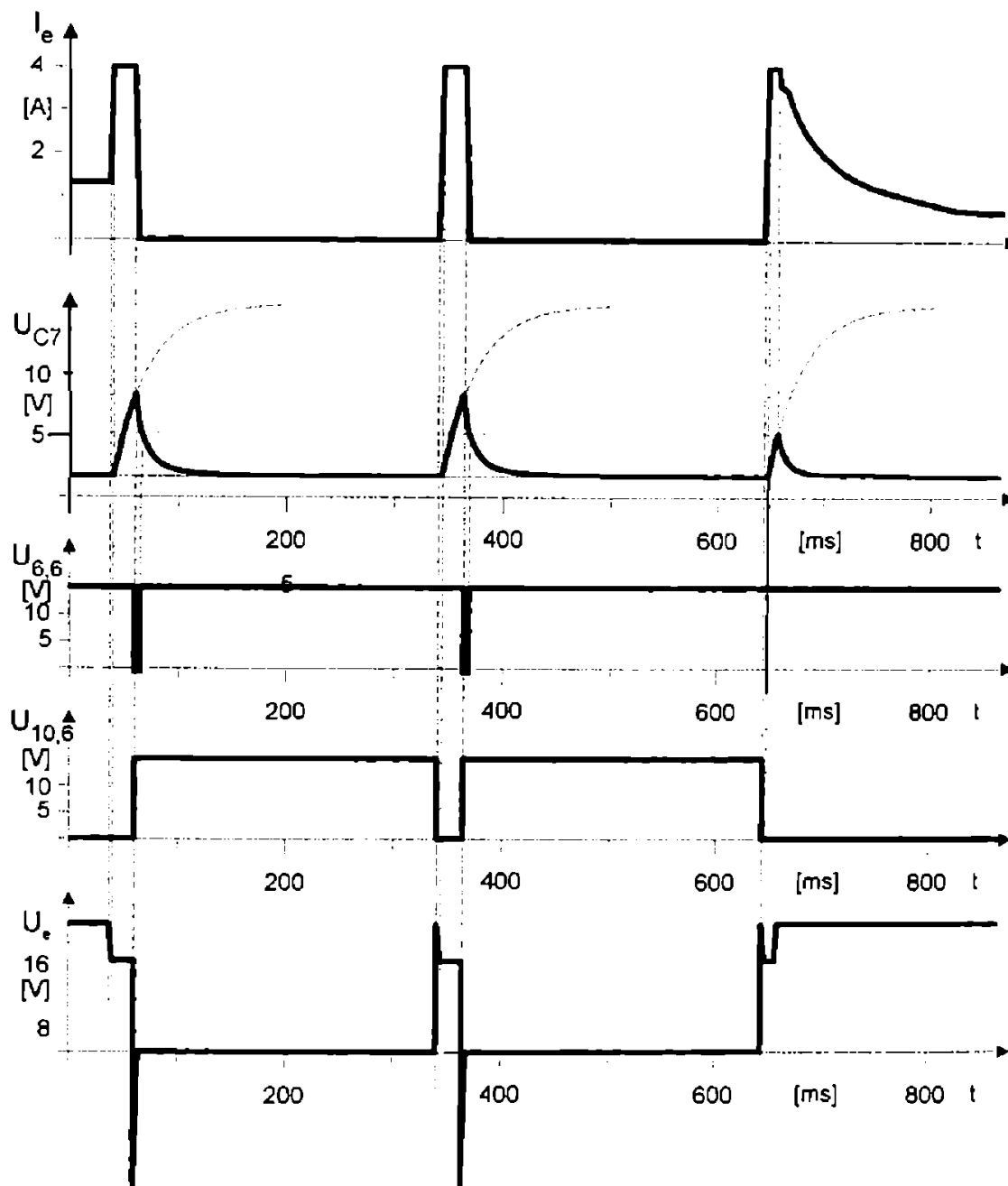


fig.4.29

mașina-unealtă aplicat la intrarea I se poate inhiba funcționarea amplificatorului de putere diferențial (deci implicit comanda servocomponentului).

Funcționarea amplificatorului de putere diferențial în regim de protecție descris anterior este semnalizată optic prin "lumina" continuă a LED-ului Av -D₂₄ din compunerea circuitului de protecție și semnalizare.

4.4.4 Circuitul de protecție și semnalizare

Funcțiunile acestui circuit, care nu se confundă nici-decum cu cele realizate în cadrul amplificatorului de putere diferențial, ci așa cum s-a mai spus sunt determinate de specificul constructiv al servocomponentului, de posibilitățile și probabilitățile de avarie, sunt:

a. asigurarea protecției servocomponentului la atingerea limitelor gamei de reglare a parametrului controlat.

b. semnalizarea optică și electrică a oricărei situații periculoase asimilate ca avarie. Se consideră avarie manifestările care corespund uneia sau mai multora din următoarele situații:

- defectarea (de orice tip) a potențiometrului traductor din compunerea servocomponentului.

- atingerea uneia din limitele S_i sau S_s materializate de microîntrerupătoarele având aceeași notație.

De asemenea acest circuit are posibilitatea de a recepționa (prin D₃₇) semnalul U₁₀₂ de la amplificatorul de putere diferențial caz în care va semnaliza (optic și electric) și neregulile în funcționarea acestuia. Opțiunea utilizării acestei din urmă facilități este determinată în principal de aplicația concretă și nu de specificul servocomponentului comandat, urmând a fi lăsată la latitudinea proiectantului sau/și utilizatorului.

Ținând seama de construcția servocomponentului comandat și funcțiunile enumerate, pentru circuitul de protecție și semnalizare s-a adoptat schema de principiu prezentată în figura 4.30.

Din examinarea schemei de principiu se observă că:

a. funcționarea servocomponentului în zona limitelor L_s și L_i ale funcționării normale este supravegheată respectiv cu secțiunile C2/2 și C3/2 ale comparatorului cuadruplu integrat -CI 2-βM339. La atingerea oricăreia din aceste limite se va inhiba comanda în sensul ieșirii din intervalul de reglare determinat de ele fiind permisă comanda servocomponentului în sensul revenirii în interval.

b. protecția servocomponentului în caz de defectare a potențiometrului traductor este realizată cu secțiunile C1/2 și C4/2 ale aceluiași comparator cuadruplu integrat βM 2901. La defectare se transmite amplificatorului de putere dife-

rențial o comandă de inhibare a etajului final. Servocomponentul nu va putea fi comandat în nici un sens - până la eliminarea defectului- indiferent de orice alte comenzi sau semnale ce se aplică modulului. Restricția este severă dar impusă din rațiuni de protejare a servocomponentului (și chiar a mașinii-unelte) întrucât *potențiometrul traductor este singurul element prin care acesta este controlat direct.*

Defectarea potențiometrului este semnalizată optic prin

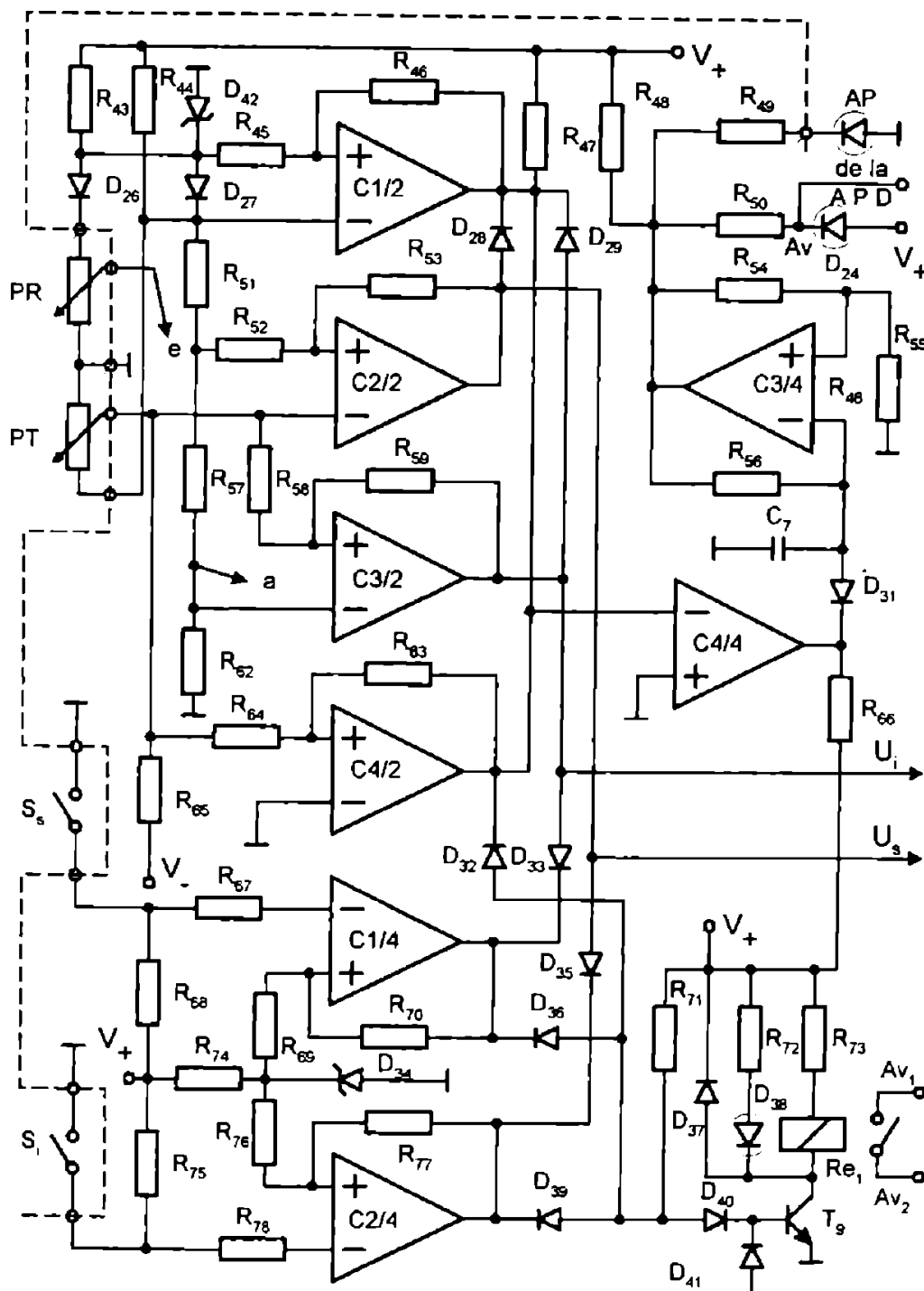


fig. 4.30

aprinderea intermitentă a LED-urilor D_{24} - „Av” (avarie) și „AP” (avarie potențiometrului). Totodată contactul între bornele Av1 și Av2 se deschide semnalizând electric defecțiunea spre automatul programabil ce conduce mașina-unealtă.

c. atingerea limitelor S_i și S_s materializate prin microlimitatoarele cu același indicativ se consideră „Avarie” și se semnalizează optic pe panoul frontal și electric pe la bornele Av1 și Av2. Aceste microlimitatoare dublează într-un fel protecția realizată cu circuitele asociate potențiometrului traductor, dar experiența acumulată cu ocazia experimentărilor și punerilor în funcțiune la beneficiari l-au convins pe autor că **nici o soluție de protecție electronică a mașinii-unelte sau a unui subansamblu nu este prea scumpă în raport cu avantajele și siguranța ce le oferă**. Pentru o mai ușoară înțelegere a modului de realizare a protecției servo-componentului și implicit și a mașinii-unelte în figura 4.31 se prezintă dispunerea „grafică” a limitelor L_i , L_s , S_i și S_s în raport cu capetele potențiometrului traductor.

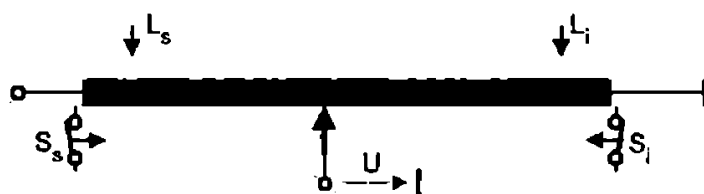


fig.4.31

Tensiunile furnizate de circuitul de protecție și semnalizare, U_s și U_i se aplică așa cum rezultă și din schema bloc amplificatorului de putere

diferențial, având rolul de-a inhiba comanda în sensul creșterii respectiv scăderii parametrului controlat. Inhibarea se produce pentru nivelul coborât al tensiunilor menționate, obținute ca funcții cablate conform relațiilor:

$$\overline{U_s} = C + A + S_s, \quad 4.39$$

$$\overline{U_i} = C + B + S_i, \quad 4.40$$

unde semnificația variabilelor logice **A**, **B**, **C**, **S_i**, **S_s** este următoarea:

$A=1$ - servocomponentul a depășit limita **L_s** ($U \geq U_{L_s}$)

$B=1$ - servocomponentul a depășit limita **L_i** ($U \leq U_{L_i}$)

$S_s=1$ - s-a atins limita **S_s** (contactul **S_s** - deschis)

$S_i=1$ - s-a atins limita **S_i** (contactul **S_i** - deschis)

$C=1$ - potențiometrul este defect

Această ultimă variabilă logică este de fapt la rândul ei o funcție ce cuprinde toate posibilitățile pertinente de defectare a potențiometrului traductor și anume:

- întrerupere a înfășurării potențiometrului
- întrerupere a contactului cursor - înfășurare

- întrerupere a uneia sau mai multor conexiuni spre sau dinspre potențiomtru.
- scurtcircuit între două conexiuni spre potențiomtru.

U_s și U_i se consideră în stare 0 logic dacă sunt la nivel coborât (V-) indiferent de nivelul tensiunilor din amplificatorul de putere diferențial și în stare 1 logic când nivelul lor este determinat de tensiunile din același amplificator, datorită structurii "open collector" a ieșirilor comparatoarelor cu care funcțiile care le descriu au fost implementate.

Circuitul de protecție și semnalizare a fost proiectat pentru a fi utilizat în conexiune cu un potențiomtru traductor bobinat având rezistența totală de circa 2 kohmi. În cazul utilizării unor potențiometre având alte valori este necesară doar o redimensionare a elementelor R_{43} și R_{44} . În locul potențiometrului traductor bobinat ar fi preferabilă utilizarea unui traductor de deplasare de mare fiabilitate, de care din păcate nu s-a dispus în perioada realizării și experimentării servocomponentelor menționate. Importantă a fost însă verificarea lor principială, întrucât adaptarea unui alt tip de traductor de deplasare în locul potențiometrului implică modificări minime, și nicidecum de substanță, în structura modulului (numai în cadrul circuitului de protecție și semnalizare).

4.5 Contribuții originale și concluzii parțiale

Modulul pentru comanda servosupapelor cu bobină mobilă și ac și modulul pentru comanda servosupapei-releu și servopompei sunt realizări ce au fost determinate de necesitatea unor comenzi adaptive performante în condițiile inexistenței în producția internă și pe plan mondial a unor ansambluri servocomponent - modul electronic de comandă de minimă calitate și performanță. Cu ajutorul acestor module s-a reușit punerea în valoare a caracteristicilor servosupapei cu bobină mobilă și ac și a servosupapei-releu încorporate în comenzi adaptive performante, realizate în cadrul unor cercetări finalizate prin predarea mașinii-unelte la beneficiar. Vizavi de cele expuse contribuțiile prezentului capitol sunt:

1. Realizarea și experimentarea a două comutatoare statice pentru selectarea perechii *mărime de referință - mărime controlată* în condiții de maximă fiabilitate, siguranță și imunitate la perturbații și încorporarea lor în sisteme de comandă adaptivă care au devenit astfel mult mai performante și fiabile.
2. Utilizarea în cadrul primului modul prezentat a unui amplificator sumator astfel conceput încât să optimizeze funcționarea servosupapei cu două capete de comandă.
3. Realizarea și experimentarea prin cel de-al doilea modul a unor circuite pentru supravegherea funcționării

servosupapei-releu și servopompei reglabile, menționate în cursul prezentării.

4. Realizarea în cadrul celui de-al doilea modul a unui circuit pentru protecția simultană a etajului final și a servomicromotorului, utilizând un alt principiu decât cele cunoscute și aplicate până în prezent, bazat pe monitorizarea funcționării, întreruperea totală a comenzii în caz de anomalitate și testarea periodică a stării ieșirilor. Dacă circuitul de protecție constată că s-a reinstalat starea de normalitate (de la sine sau în urma intervenției operatorului) se reia funcționarea normală. Din acest punct de vedere modulul pentru comanda servosupapei-releu și servopompei nu numai că se autodiagnosticează dar se și află în "dialog" cu servocomponentul comandat, monitorizat și diagnosticat.

6. Posibilitatea reglării simple a gradului de insensibilitate a servocomponentului (și prin el a sistemului în care funcționează -de exemplu comanda adaptivă) prin operare exclusivă asupra câtorva elemente pasive de circuit din structura modulului electronic de comandă. Valoarea acestui "punct câștigat" poate fi percepută la dimensiunile ei reale dacă se încearcă optimizarea sensibilității (gradului de insensibilitate) unui sistem de comandă sau reglare (nu neapărat adaptivă) sau modelarea comportării sale prin operare asupra servocomponentului sau a altui subansamblu mecanic, hidraulic sau combinat.

7. Aplicarea originală a unor circuite, parțial cunoscute în literatura de specialitate, pentru realizarea unor funcții specifice, existente sau nou-introduse, necesare servocomponentelor și respectiv comenzii mașinii-unelte, pentru asigurarea unor performanțe superioare în condițiile unei siguranțe maxime în exploatare și capacități de producție sensibil mărite.

Din examinarea critică a realizărilor existente pe plan mondial, a nerealizărilor industriei autohtone și a contribuțiilor în domeniul realizării unor servocomponente și comenzi performante aduse de Colectivele disciplinelor de Mașini-unelte și a altora din cadrul Universității "Politehnica" din Timișoara rezultă câteva concluzii relativ optimiste:

- decalajul existent și la care s-a făcut referire la momentul potrivit poate fi ușor remontat sau chiar și inversat printr-un efort de cercetare și producție nu excesiv de mare, dar intens, bine dirijat și concertat.

- realizări competitive în servohidraulică vor fi numai cele care reunesc efortul conjugat al proiectanților din domeniile *mecanic, hidraulic și electronic*.

Cap.5 Reinstalarea automată a sculelor la cotă

5.1 Stadiul actual al sistemelor de reinstalare automată la cotă

Având în vedere introducerea pe scară tot mai largă în procesele de fabricație a celulelor și liniilor flexibile, problema reinstalării automate la cotă devine de stringentă actualitate. În condițiile lucrului fără operator, obținerea unor piese de calitate nu este posibilă fără controlul lor dimensional în proces, în timp real și fără compensarea abaterilor prin reinstalarea sculei la cotă sau prin alte metode.

Modalitatea și mijloacele de reinstalare automată la cotă sunt foarte diverse, ele depinzând atât de factori cu caracter general cât și de factori specifici, determinați de tipul prelucrării și caracteristicile constructive ale mașinii-unelte pe care ea se efectuează.

Așa cum se cunoaște din literatura de specialitate [5.1], [5.2], [5.3], [5.5], [5.7], [5.8], [5.15], [5.16], [5.19], reinstalarea automată la cotă se poate efectua fie în urma unui studiu statistic al uzurii sculei, utilizând eventual și informații din comanda adaptivă a mașinii-unelte, fie în urma controlului activ al dimensiunii piesei prelucrate.

Prima metodă presupune existența unei foarte bogate bănci de date referitoare la proprietățile sculelor așchietoare și evoluția uzurii acestora în cursul prelucrării diferitelor materiale. Stocarea și accesul la o asemenea bancă de date nu reprezintă în momentul de față o problemă dificilă, în schimb crearea și mai cu seamă reactualizarea ei permanentă cu realizările de ultimă oră reprezintă un handicap major, greu și oricum neeconomic de surmontat.

Din acest motiv se recomandă utilizarea reinstalării automate la cotă pe baza controlului dimensional activ al piesei, care, funcție de locul și momentul efectuării poate fi:

- preproces
- în proces
- postproces

Literatura de specialitate străină, [5.15], [5.16], [5.18], prezintă principii și soluții utilizabile pentru reinstalarea automată la cotă dar nu face referiri la realizări industriale concrete. Astfel se specifică posibilitatea realizării de sisteme de reinstalare la cotă:

- cu inerție redusă
- cu inerție mare,

adoptarea uneia sau altele dintre soluții fiind determinată de specificul cazului tehnologic concret abordat.

În schimb există câteva încercări și realizări autohtone valoroase ce vor fi prezentate succint în continuare.

5.1.1 Sistem de reinstalare automată la cotă pe baza calculelor și informațiilor preluate din comanda adaptivă

Sistemul prezentat în lucrarea [5.5] realizează compensarea uzurii sculei împreună cu alte erori de prelucrare pe baza unor măsurători și informații preluate din comanda adaptivă și a unor calcule ulterioare. El a fost implementat și experimentat pe un strung cu structură nouă, conceput de autorul lucrării menționate în colaborare cu Colectivul disciplinelor de Mașini-unelte din Universitatea "Politehnica"

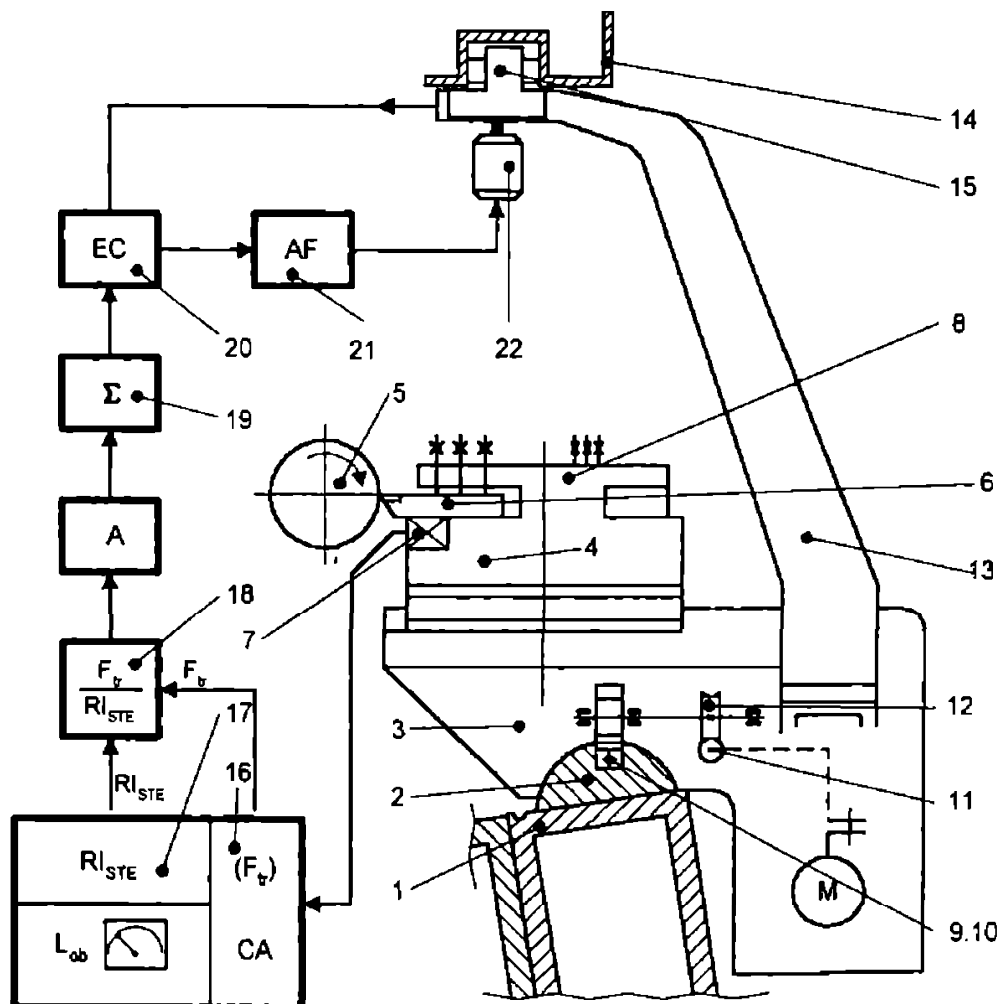


fig.5.1

Timișoara.

Construcția principală a acestui sistem automat de compensare a erorilor de prelucrare reprodușă după [5.5] se prezintă în figura 5.1. Fără a intra în detalii asupra realizării și funcționării prezentate pe larg în lucrarea citată, remarcăm faptul că printr-o comandă adecvată a servomotorului 22 cuțitele 6 vor fi astfel poziționate încât dimensiunile piesei 5 să fie cele impuse.

5.1.2 Sistem de reinstalare automată la cotă cu acționare magnetostrictivă

Un exemplu de lanț cinematic pentru microavansuri utilizabil în sistemele de reinstalare automată la cotă a sculelor folosind fenomenul de magnetostricțiune se prezintă în figura 5.2.

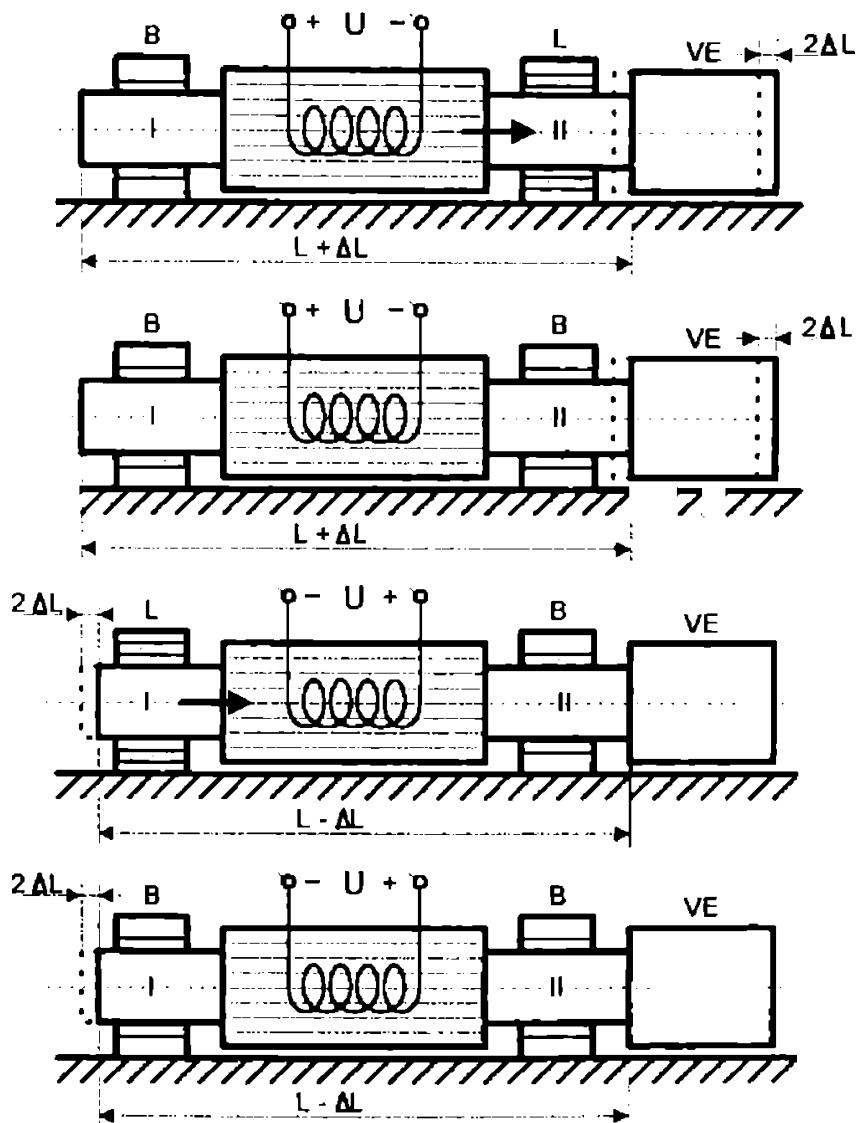


fig.5.2

Semnificația notațiilor utilizate este următoarea:

- VE - verigă de execuție
- I, II - elemente de blocare
- A - element de blocare activat
- L - element de blocare liber

Din figură se observă funcționarea secvențială a sistemului de reinstalare la cotă. Ca și în cazul oricărui sistem automat succesiunea și sincronizarea secvențelor în care se realizează reinstalarea automată la cotă sunt asigurate de un

bloc de comandă cu funcțiuni specifice a căror prezentare nu face obiectul acestui paragraf.

5.1.3 Sistem de reinstalare automată la cotă cu hidromotor

Un exemplu de sistem de reinstalare automată la cotă pentru compensarea uzurii sculei, folosind un hidromotor oscilant și un dozator ca elemente specifice se prezintă în figura 5.3, reproducă după lucrarea autorilor [5.9].

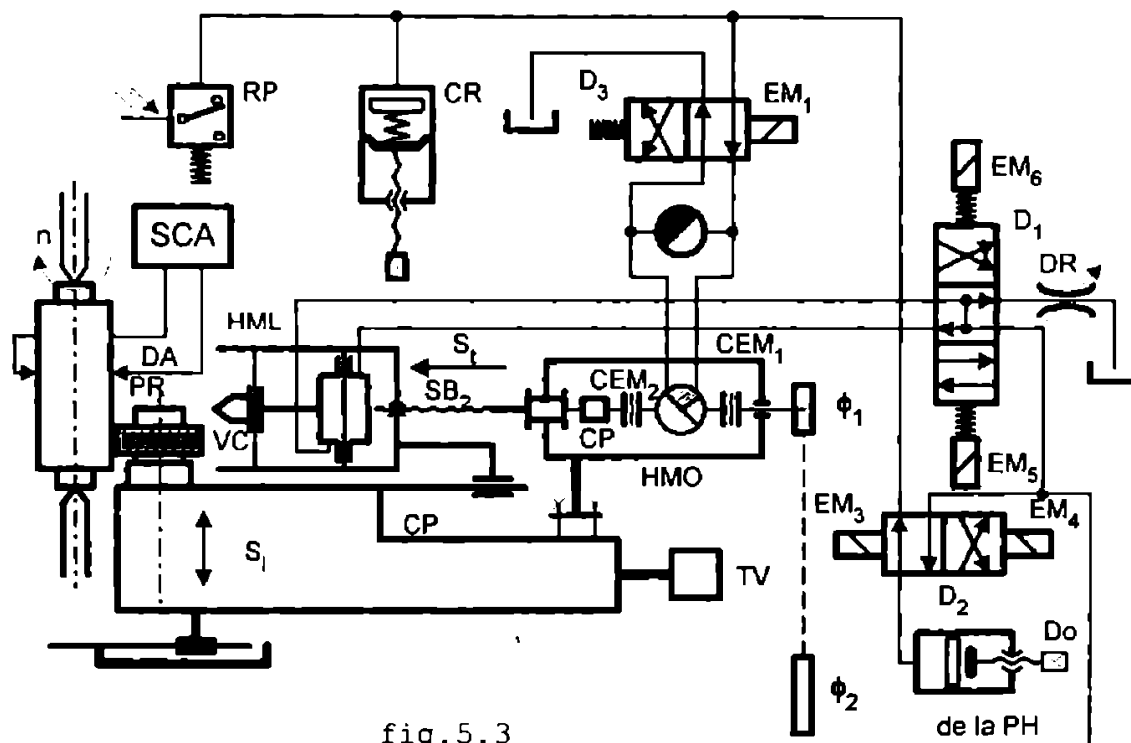


fig.5.3

Semnificația notațiilor utilizate este:

- SB - șurubul cu bile
- CEM₁ - cuplajele electromagnetice
- CEM₂
- SCA - sistemul de control activ
- RP - releul de presiune
- D1+D3 - distribuitorile
- Do - dozatorul
- CR - cilindrul de refugiu
- HMO - hidromotorul oscilant
- HML - hidromotorul liniar

Funcționarea sistemului este următoarea:

Cota (cotele) piesei este controlată de sistemul de control activ în paralel cu supravegherea procesului de prelucrare cu ajutorul traductorului de vibrații. Dacă traductorul de vibrații măsoară amplitudini ale acestora mai mari decât cele admise se va comanda efectuarea corecției sculei urmată obligatoriu de o reinstalare automată la cotă. Dacă sistemul de

control activ sesizează faptul că dimensiunea (cota) controlată a piesei nu se mai încadrează în câmpul de toleranță prescris se comandă reinstalarea automată la cotă independent de informațiile furnizate de traductorul de vibrații.

Corecția profilului sculei este realizată de vârful corector ce execută în plan orizontal două mișcări de avans: una continuă, paralelă cu axa sa de rotație (și evident și cu cea a piesei) realizată cu hidromotorul liniar și alta ritmică, la capete de cursă, pe direcția transversală realizată cu hidromotorul oscilant și șurubul cu bile.

5.1.4 Sistem de reinstalare automată la cotă cu motor pas cu pas

Particularitatea care evidențiază deosebirea dintre acest sistem de reinstalare și cel prezentat anterior este că utilizează un motor electric pas cu pas pentru avansul transversal al vârfului corector.

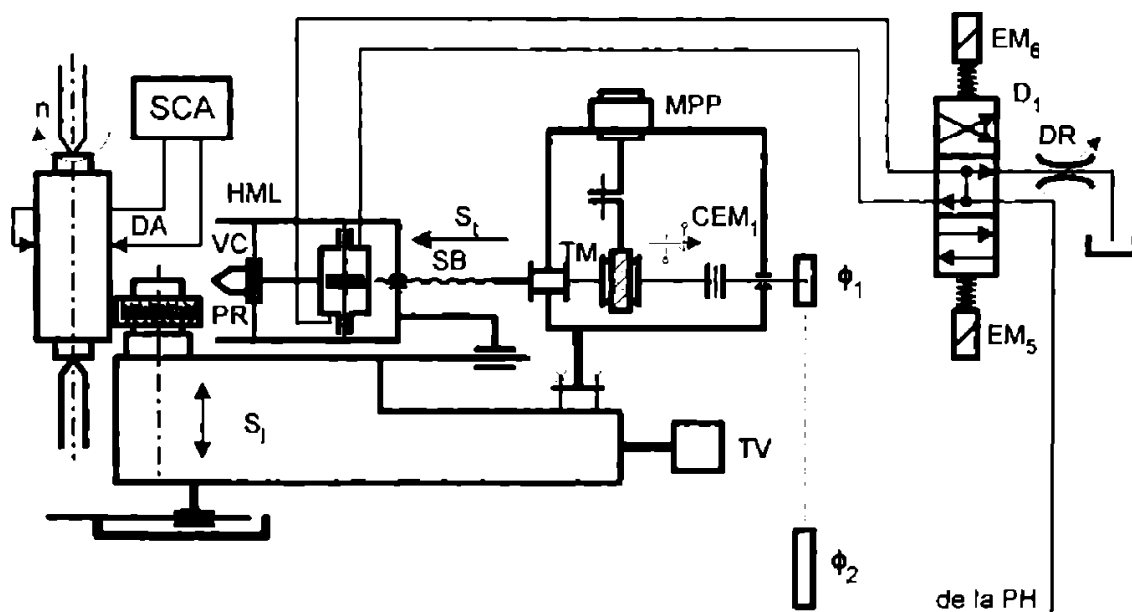


fig.5.4

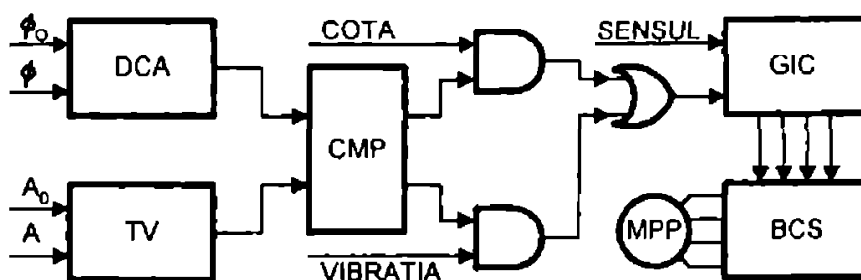


fig.5.5

Este ușor de remarcat similitudinea celor două sisteme. De altfel, realizări ale aceluiași autori, ambele sunt coman-

date de blocuri electronice de comandă similare, unul din ele fiind prezentat simplificat în figura 5.5. Semnificația notațiilor utilizate este:

- DCA - dispozitivul de control activ
- TV - traductorul de vibrații
- CMP - circuitul cu microprocesor
- GIC - generatorul impulsurilor de comandă
- BCS - blocul contactoarelor statice

5.1.5 Sistem de reinstalare automată la cotă cu lanț cinematic

Tot în categoria sistemelor de reinstalare automată cu inerție redusă se încadrează și realizarea prestigioasei firme MAAG din Elveția, [5.20], pentru mașini de rectificat danturi prezentată în figura 5.6.

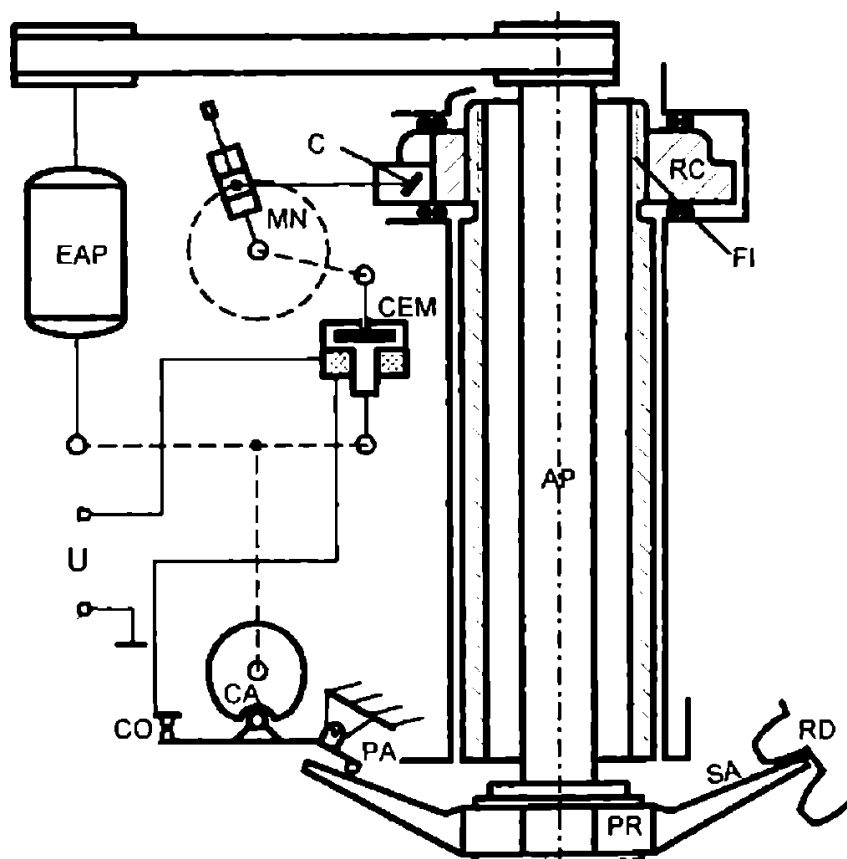


fig.5.6

Principiul de funcționare al sistemului este următorul: Prin intermediul unui diamant rotunjit palpatorul PA palpează ritmic la anumite intervale de timp (determinate de configurația lanțului cinematic dintre electromotorul acționării principale EAP și cama CA) suprafața activă SA a pietrei de rectificat PR. Dacă uzura pietrei depășește valoarea prescrisă și reglată contactul CO se închide și alimentează cuplajul

electromagnetic CEM. Arborele de intrare al acestuia primind o mișcare permanentă de la un punct al lanțului cinematic al acționării principale se va comanda prin intermediul manivelei MN clichetul C determinând rotirea roții de clichet RC (lăgăruită axial). Această mișcare de rotație are ca rezultat o microdeplasare a pinolei PN în sensul compensării uzurii pietrei de rectificat. Desigur că mașina-unealtă este prevăzută și cu posibilitatea corecției profilului pietrei efectuată înaintea compensării uzurii.

5.1.6 Sistem de reinstalare automată la cotă cu inerție mare

Un procedeu de prelucrare la care se pretează deosebit de bine compensarea uzurii sculei prin reinstalare automată la cotă în urma controlului activ este cojirea barelor. În lucrările [5.1] și [5.3] este prezentat un sistem de reinstalare automată la cotă deosebit de interesant cu bune rezultate și oportunități de perfecționare, care au fost fructificate prin conceperea realizarea și experimentarea modulului electronic de comandă prezentat în cele ce urmează.

5.2 Modul electronic pentru comanda reinstalării automate la cota

5.2.1 Considerații tehnologice

Datorită faptului că cele câteva firme proiectante și producătoare de mașini de cojit bare pe plan mondial [5.15], [5.16], nu utilizează compensarea uzurii sculei prin reinstalarea ei automată la cotă precum și existenței în această parte de țară a unei industrii ce utilizează mașini de cojit bare, Colectivul de Mașini-unelte de la Universitatea "Politehnica" Timișoara a desfășurat activități de cercetare-concepție legate de realizarea unor mașini de cojit bare cu performanțe superioare celor ce se oferă pe piață. În acest sens o direcție importantă de cercetare a fost cea consacrată realizării unui sistem de reinstalare automată la cotă de înaltă performanță, fructificând experiența acumulată și realizările colectivului în domeniu și în altele conexe, [5.1], [5.3], /5.8/.

Conform datelor din literatură, [5.1], [5.3], /5.8/, [5.20], la cojire valoarea maximă admisă a uzurii radiale a sculei cu care încă se poate realiza prelucrarea fără a afecta calitatea suprafeței prelucrate și nici proprietățile sculei așchietoare este:

$$h_r = 0,12 \text{ mm}$$

5.1

valoare ce ar determina o diferență între diametrele maximă și minimă obținute ale barei de:

$$T = 2 \cdot h_r = 0,24 \text{ mm}$$

5.2

inadmisibil de mare întrucât standardele în vigoare prescriu pentru barele cojite toleranțele cu mult mai strânse, mai cu seamă dacă se dorește evitarea operației suplimentare de netezire.

Așadar pentru a se obține bare în intervalul de toleranțe prescris se întrevăd ca posibile 3 căi:

- reinstalarea periodică, manuală a cuțitelor la cotă
- schimbarea întregului cap cu cuțite de fiecare dată când se constată că diametrul efectiv al barei cojite a depășit valoarea maximă admisă
- reinstalarea automată, continuă și permanentă a cuțitelor la cotă în urma controlului activ al diametrului barei cojite.

Primele două căi aplicate de producătorii prezenți actualmente pe piața mondială, [5.15], [5.16], solicită manoperă calificată și întreruperea prelucrării în intervalul când se efectuează reinstalarea cuțitelor sau schimbarea capului și determină scăderi considerabile ale capacității de producție a mașinii-unelte.

Ținând seama de relația 5.2 și de restricțiile de toleranță a diametrului barelor cojite impuse de standarde se ajunge la concluzia că în intervalul de uzură radială permisă a cuțitelor sunt necesare adesea câteva reinstalări la cotă.

Inconvenientul opririlor repetate ale mașinii-unelte pentru efectuarea reinstalărilor manuale la cotă este întrucâtva atenuat în cazul în care se dispune la prețuri accesibile de scule cu durabilitate foarte mare, caz în care raportul dintre intervalele de prelucrare și de oprire este suficient de mare.

A treia cale de obținere a barelor în gama de diametre permisă, mai dificilă constructiv, este cea care poate pune în valoare întreaga capacitate de producție a mașinii și proprietățile sculelor așchietoare în condițiile unei producții ce se încadrează în toleranțele impuse de standarde. Mașina execută prelucrarea prin cojire, fără oprire, în întregul interval de uzură permis al sculei așchietoare. La epuizarea acestuia, semnalizată de modulul pentru comanda reinstalării automate la cotă mașina-unealtă va fi oprită procedându-se la schimbarea capului cu cuțite uzate cu altul conținând cuțite reascuțite sau noi, instalate la cota inițială. În acest mod cu o uzură radială a sculei de ordinul zecimii rezultă o precizie de prelucrare a diametrului barei de câteva sutimi. Se obține astfel, pe lângă o creștere substanțială a capacității de producție a mașinii-unelte o tolerare strânsă a diametrului barei cojite, fapt deosebit de util pentru utiliza-

torul acesteia, care poate conta pe un semifabricat ce nu va necesita operații suplimentare de degroșare.

5.2.2 Elaborarea structurii modulului pentru reinstalare automată la cotă

Deși este dovedit prin cercetările prezentate în [5.1], [5.3] și alte lucrări că compensarea uzurii sculei prin reinstalare automată la cotă efectuată în urma controlului activ aduce în cazul procedeelelor de cojire o serie de avantaje esențiale și substanțiale, ea a cunoscut o răspândire disproporționat de mică în raport cu acestea. Singura realizare industrială cunoscută este cea descrisă în lucrarea [5.1] și care a fost prezentată în referatele de pregătire a tezei. Prin utilizarea ei s-a reușit prelucrarea barelor cu suficientă precizie fără a fi necesară reinstalarea periodică manuală a sculelor, exploatându-se întregul interval de uzură permis al sculei, dar fiabilitatea ei era modestă iar precizia era afectată de numărul mic de trepte de tensiune disponibile, de funcționarea în regim de încălzire discontinuă -generatoare de suprareglări și de un algoritm de reinstalare afectat de unele inadecvări cu procesul de cojire.

Fiind cunoscute și dovedite avantajele oferite de reinstalarea automată la cotă în cadrul Colectivului de Mașin-unelte din Universitatea "Politehnica" Timișoara s-au efectuat cercetări și s-au obținut rezultate în direcția realizării de module electronice de comandă fiabile și performante pentru comanda elementelor de execuție termoelectrice montate în capul cu cuțite al mașinilor de cojit bare.

Cercetările s-au desfășurat din necesitatea rezolvării unor probleme contractuale concrete legate de proiectarea unei mașini de cojit bare mijlocii cu performanțe superioare celor oferite de piață, în condițiile în care cele câteva firme proiectante și producătoare de asemenea mașini pe plan mondial nu utilizează compensarea automată a uzurii și prin urmare nici nu oferă documentația referitoare la comanda unor astfel de tipuri de elemente de execuție termoelectrice.

Desigur că la conceperea modulului electronic s-a avut în vedere posibilitatea utilizării acestuia pentru comanda elementelor de execuție termoelectrice din structura capului cu cuțite al oricărui tip de mașină de cojit bare în spiritul concepției de lucru cu componente modulare și "intern standardizate", autoimpus în colectivul amintit (și dovedit în decursul timpului a fi deosebit de util și productiv).

Așa cum se cunoaște, compensarea uzurii sculei implică două probleme esențiale și anume:

- măsurarea (indirectă) uzurii sculei prin urmărirea continuă, în timpul procesului de așchiere dar nu strict în locul de desfășurare al acestuia, a diametrului barei cojite.

- comanda unui element de execuție astfel încât să se compenseze abaterile diametrului barei de la valoarea nominală, menținându-l în câmpul de toleranțe impus de standarde.

Cu ocazia elaborării referatelor s-au conceput, realizat și experimentat mai multe tipuri de blocuri electronice,

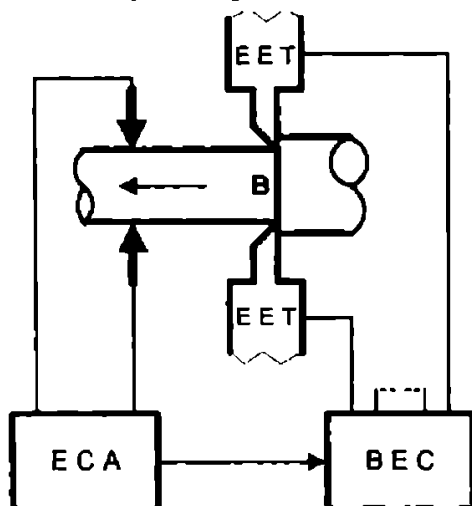


fig.5.7

utilizându-se elemente de control activ existente, atât cu semnal de ieșire logic (cel utilizat și în lucrarea 5.1) cât și cu semnal de ieșire analogic. Astfel s-au făcut experimentări cu două tipuri de blocuri electronice, unul pentru element de control activ cu semnal de ieșire logic și altul pentru element de control activ cu semnal de ieșire analogic, conform schemei bloc din fig. 5.7. Ambele tipuri de blocuri (module) electronice au fost concepute pentru a comanda elemente de execuție termoelectrice, acestea dovedindu-se în cursul experimentărilor ocazionate

și de alte lucrări ale Colectivului de mașini-unelte, [5.2], [5.3], ca cele mai potrivite. Schița constructivă a unui asemenea element de execuție se prezintă în figura 5.8. Ca element de control activ cu semnal de ieșire analogic s-a utilizat în experimentări un microcomparator electronic tip N-2201 împreună cu un element de măsurare inductiv încorporat într-o montură adecvată. Din experimentări au rezultat câteva concluzii ce au stat la baza realizării modulului pentru comanda elementului de execuție termoelectric și anume:

- uzura sculei la cojire fiind un fenomen eminent lent controlul ei trebuie făcut cu un element de control activ analogic (cu semnal de ieșire analogic)
- întrucât ar fi foarte dificilă incorporarea unui element de control activ fabricat industrial sub formă de aparat (ca de ex. microcomparatorul utilizat în experimentări, oricum uzat moral, iar altele nu se ofereau la un preț acceptabil) a fost necesară realizarea unui modul electronic de comandă care să includă și funcțiunile acestuia, urmând ca reinstalarea automată la cotă să se realizeze cu un ansamblu ca cel prezentat în figura 5.9.
- din punctul de vedere al preciziei cu care se realizează compensarea este favorabilă utilizarea reglajului continuu, gradat al încălzitii EET.
- este deosebit de utilă din punct de vedere energetic dar și funcțional introducerea unei temporizări, cu efect asemănător celei prezentate în [4.6], pentru a

întrerupe alimentarea elementelor de execuție, dar nu la epuizarea gamei în care se poate asigura compensarea ci la epuizarea intervalului de uzură radială permisă (h_r) a sculei.

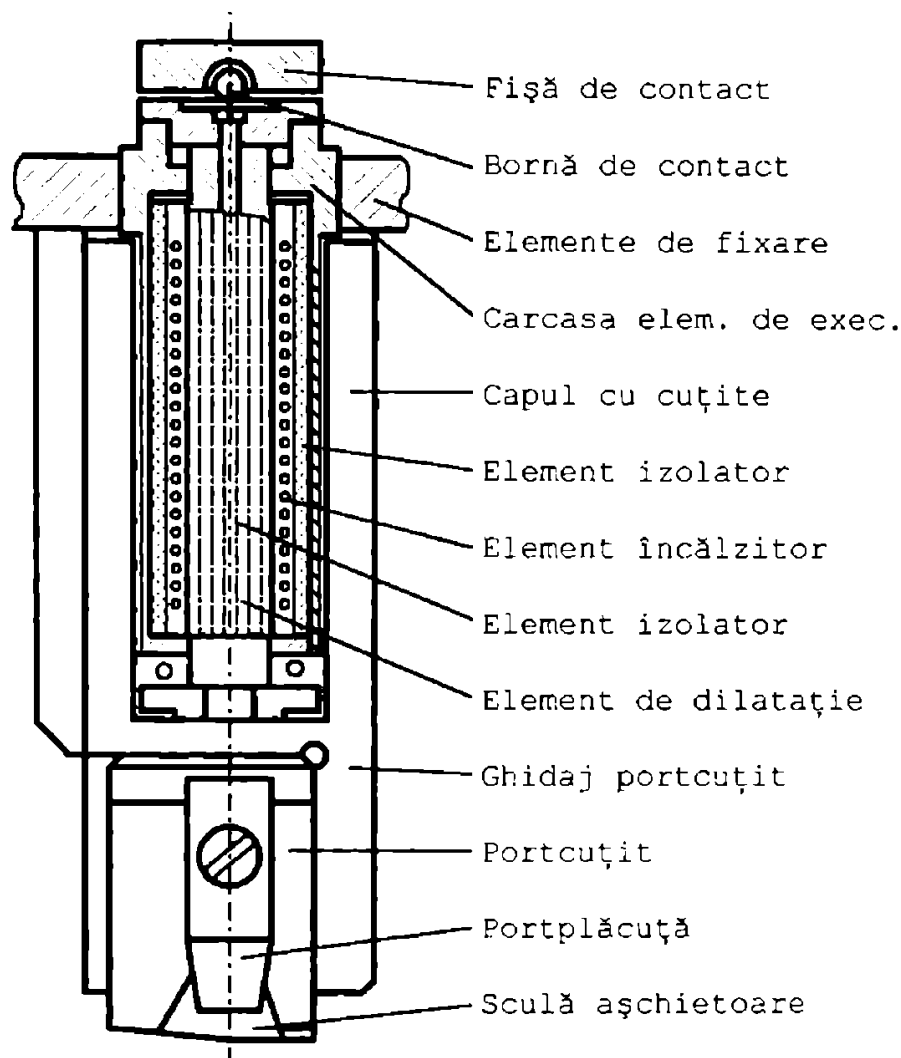


fig.5.8

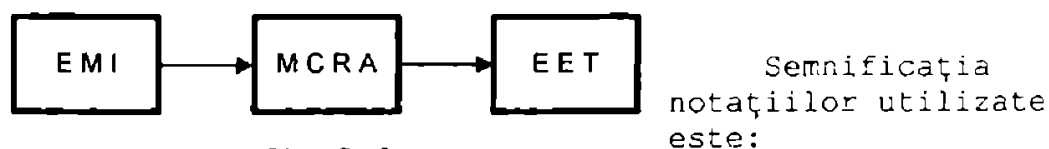


fig.5.9

EMI - elementul de măsurare inductiv încorporat într-o montură adecvată de tipul celei utilizate în [5.1]

MCRA - modulul pentru comanda reinstalări automate

EET - elementul de execuție termoelectric

Vizavi de aceste concluzii și ținând seama de caracteristicile elementului de execuție termoelectric și ale ele-

mentului de măsurare inductiv accesibil, fabricat de IEMI București și a cărui schiță constructivă se prezintă în figura 5.12, s-a adoptat pentru modulul electronic de comandă a reinstalării automate a sculei la cotă structura din figura 5.10, prezentată în conexiune cu elementele termoelectrice (conectate electric în paralel și având rezistența echivalentă R_i), cu elementul de măsurare inductiv și cu sesizorul existenței barei.

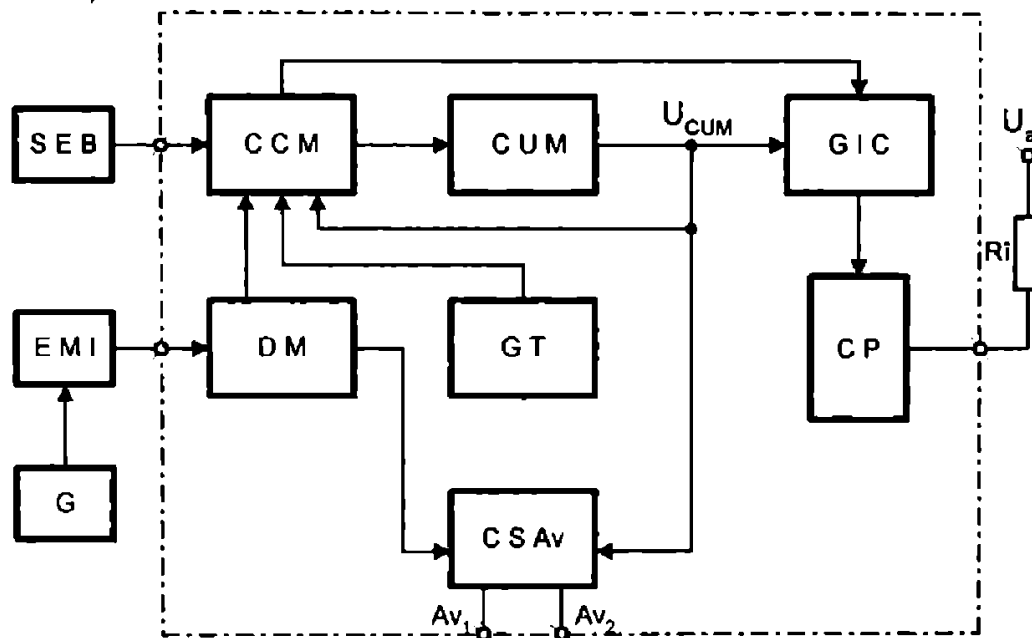


fig.5.10

Semnificația notațiilor utilizate în schema bloc este următoarea :

- G - generatorul pentru alimentarea EMI
- EMI - elementul de măsurare inductivă
- DM - demodulator de măsură
- GT - generatorul de tact
- CCM - circuitul pentru c-da memorării și urmării
- CUM - circuitul de urmărire și memorare
- GIC - generatorul impulsurilor de comandă
- CP - circuitul de putere
- CSAv- circuitul de semnalizare și avarie
- SEB - sesizorul pentru existenței barei

Întrucât modulul este destinat pentru echiparea mașinilor-unelte ce sunt dotate și cu sistem de comandă adaptivă pentru alimentarea EMI se utilizează generatorul sinusoidal din compunerea acestuia -cod **MSG 2001-K sau 1003-K** în nomenclatorul modulelor proiectate și elaborate de Colectivul de mașini-unelte din Univ. "Politehnica" Timișoara. Conform acestei scheme bloc funcționarea modulului este următoarea:

Demodulatorul de măsură furnizează la ieșire o tensiune continuă, U_{DM} , având valoarea proporțională cu abaterea diametrului barei prelucrate de la dimensiunea nominală (și

indicând prin semn sensul acestei abateri) pe care o aplică circuitului pentru comanda memorării (și urmării) unde se compară cu tensiunea ce comandă generatorul impulsurilor de comandă. Dacă senzorul pentru existența barei arată că în elementul de măsurare inductiv există bară, circuitul pentru comanda memorării (și urmării) va comanda circuitul de urmărire și memorare în sensul reducerii diferenței dintre tensiunea furnizată de el și cea obținută de la demodulatorul de măsură. Astfel, dacă abaterea diametrului barei a crescut, crește tensiunea U_{CUM} . Întrucât această tensiune determină proporțional prin generatorul impulsurilor de comandă valoarea efectivă a tensiunii cu care circuitul de putere alimentează rezistențele de încălzire ale elementelor de execuție termoelectrice, rezultă că creșterea diametrului barei -constată prin creșterea tensiunii U_{DM} - a determinat în ultimă instanță alungirea elementelor de execuție termoelectrice, adică reducerea diametrului barei cojite.

Dacă nu există bară în senzorul pentru existența barei (și deci nici în elementul de măsurare inductiv) circuitul pentru comanda memorării transmite circuitului de urmărire și memorare comanda menținerii constante a tensiunii generate de acesta, elementele succesive acestuia, generatorul impulsurilor de comandă și circuitul de putere determinând menținerea constantă a încălzirii elementelor de execuție termoelectrice și deci a lungimii acestora. Bara ce va fi prelucrată în continuare va avea diametrul celei prelucrate anterior (care îndeplinise evident condiția de încadrare în câmpul de toleranță prescris) până când pătrunde în senzorul

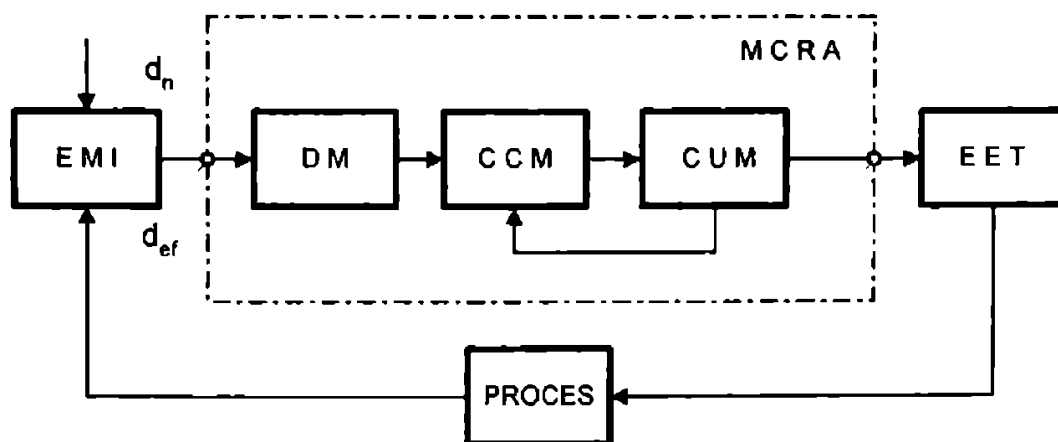


fig.5.11

existenței barei și în elementul de măsurare inductiv, (realizate în aceeași montură). Din acest moment se declanșează controlul supravegherii diametrului barei curente aflate în prelucrare și funcționarea modului se desfășoară conform celor anterior descrise.

Asimilând ansamblul element de măsură inductiv, modul electronic, elemente de execuție, proces de prelucrarea unui

sistem de reglare automată a diametrului se remarcă existența a 2 bucle de reacție negativă, una locală, electrică, cu acțiune rapidă pe traseul circuitelor de urmărire și memorare și de comandă a memorării cu rol de monitorizare și stabilizare a reglării și una generală închisă prin proces cu acțiune lentă conform figurii 5.11.

Notațiile d_n și d_{ef} corespund respectiv diametrelor nominal (prescris) și efectiv obținut în urma prelucrării.

5.2.3 Demodulatorul de măsură

Este circuitul care culege semnalul furnizat de elementul de măsurare inductiv și îl prelucrează astfel încât la ieșire să asigure o tensiune continuă proporțională cu abaterea poziției palpatorului său de la poziția de referință.

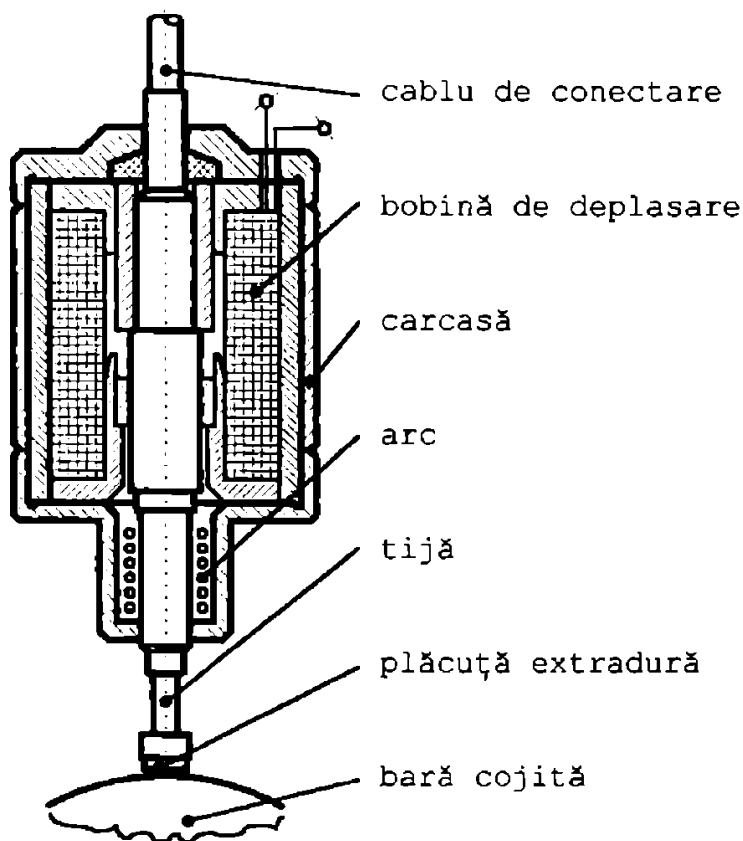


fig.5.12

Întrucât prin regajul acestui element (având schița constructivă din figura 5.12) se realizează corelația între poziția de referință a palpatorului și diametrul nominal (d_n) al barei cojite, demodulatorul de măsură va trebui să furnizeze o tensiune continuă ca cea prezentată în figura 5.13.

Schema electrică a semipunții elementului de măsurare inductiv se prezintă în figura 5.14. Caracteristica specifică ce s-a impus emonatorului de măsură este panta

reglabilă a caracteristicii:

$$U_{DM} = f(d)$$

5.3

în intervalul de diametre $d_m \div d_M$, derivând din necesitatea realizării unei comportări dinamice optime, în procesul de măsurare și reinstalare la cotă a ansamblului element de măsurare, modul electronic, element de execuție termoelectric.

Corespunzător acestei situații intervalul menționat a rezultat variabil și reglabil prin raportare la diametrul curent al barei prelucrate.

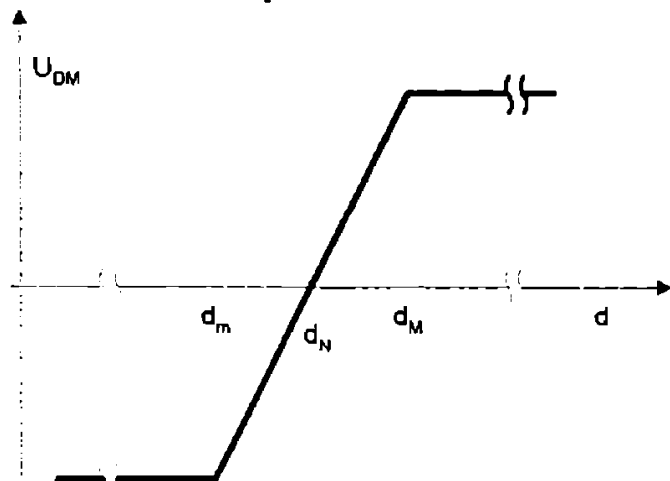


fig.5.13

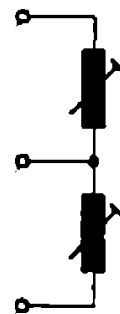


fig.5.14

Structura demodulatorului de măsură a fost determinată așadar pe de-o parte de forma semnalului pe care trebuie să-l furnizeze și pe de-altă parte de schema și caracteristicile electrice ale elementului de măsurare inductiv, fiind prezentată în figura 5.15.

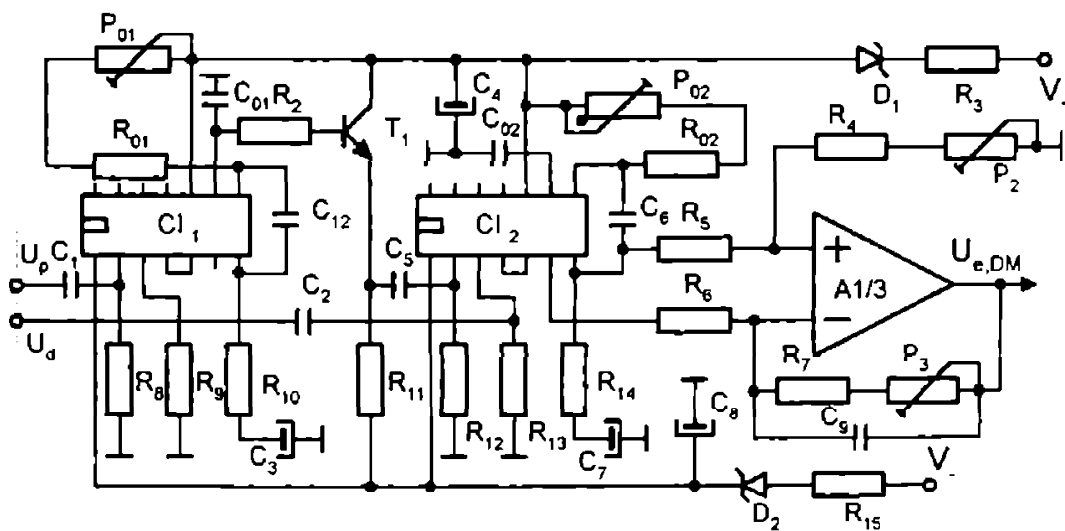


fig.5.15

Întrucât abaterea diametrului de la valoarea nominală poate fi -așa cum s-a mai spus- pozitivă sau negativă, s-a optat pentru utilizarea unui demodulator sincron realizat cu circuitul integrat CI_2 - $\beta E565$.

La alegerea constantelor de timp:

$$\tau_{11} = R_1 \cdot C$$

$$\tau_{21} = R_2 \cdot C$$

5.4

s-a ținut seama de faptul că elementul de măsurare inductiv trebuie să urmărească variațiile diametrului barei determinate de uzura cuțitelor, un proces foarte lent așa cum rezultă din referințele bibliografice, adoptându-se valorile mari:

$$\begin{aligned}\tau_{12} &= R_{q1} \cdot C_7 = 3,6 \cdot 10^3 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} = 8 \cdot 10^{-3} = 8 \text{ ms} \\ \tau_{22} &= R_{14} \cdot C_7 = 360 \cdot 2,2 \cdot 10^{-6} = 8 \cdot 10^{-4} = 0,8 \text{ ms}\end{aligned}\quad 5.5$$

Pentru o funcționare corectă a demodulatorului sincron realizat cu circuitul PLL menționat, adaptată cerințelor specifice ale aplicației, este necesară o purtătoare cu faza decalată cu 90° (electrice) față de cea care alimentează EMI, care a fost obținută tot cu un circuit PLL- CI₁-βE 565. Întrucât frecvența generatorului ce alimentează elementul de măsurare inductiv are o bună stabilitate în timp și cu temperatura și pentru că construcția mecanică a elementului de măsurare inductiv limitează deplasările tijei sale de palpăre acestui circuit nu i s-au impus condiții severe privind benzile de urmărire și captură, [10].

Conform recomandărilor din literatura de specialitate, [6], [10], [19], [32], [87], se pot adopta constante de timp de valori mari ce asigură o bună imunitate a sincronizării la zgomote și perturbații. În aplicația considerată s-au adoptat:

$$\begin{aligned}\tau_{11} &= R_{q1} \cdot C_3 = 3,6 \cdot 10^3 \cdot 22 \cdot 10^{-6} = 8 \cdot 10^{-2} \text{ s} = 80 \text{ ms} \\ \tau_{21} &= R_{10} \cdot C_3 = 360 \cdot 22 \cdot 10^{-6} = 8 \cdot 10^{-3} \text{ s} = 8 \text{ ms}\end{aligned}\quad 5.6$$

Conform relațiilor cunoscute din literatură, [10], [87], [91], frecvența liberă de oscilație a circuitului PLL este:

$$f_0 = \frac{1}{3,7 \cdot (R_0 + P_0) \cdot C_0} \quad 5.7$$

Adoptând pentru elementele de circuit care o determină valorile:

$$\begin{aligned}P_{01} &= P_{02} = 2,5 \text{ k}\Omega \\ R_{01} &= R_{02} = 10 \text{ k}\Omega \\ C_{01} &= C_{02} = 4,7 \text{ nF}\end{aligned}\quad 5.8$$

se obține îndeplinirea condiției de egalitate a acesteia cu cea furnizată de generatorul din structura sistemului de comandă adaptivă:

$$f_0 = f_G = 5 \text{ kHz}$$

5.9

Semireglabilele P_{01} și P_{02} asigură îndeplinirea relației 5.9 pentru abaterile tolerate ale componentelor $R_{01,2}$ și $C_{01,2}$ de la valoarea nominală. Comportarea circuitului a fost testată și optimizată global în corelație cu celelalte circuite ale modulului, neconsiderându-se necesară prezentarea rezultatelor testărilor izolate.

5.2.4 Circuitul de urmărire și memorare

La proiectarea, realizarea și experimentarea acestui circuit s-au avut în vedere pe lângă specificul elementului de execuție termoelectric și două condiții antagonice referitoare la viteza de variație a tensiunii de comandă pentru generatorul impulsurilor de comandă, determinate de specificul operației de cojire și anume:

- aceasta să fie suficient de mare pentru ca prin efectul determinat -alungirea elementului de execuție termoelectric- să se poată urmări uzura sculei așchietoare în condițiile cele mai severe de prelucrare (când viteza de variație a acesteia și deci a diametrului barei prelucrate este maximă).

- să fie suficient de mică pentru ca dilatarea aceluiași element să o poată urmări fără apariția unor defazaje deranjante pentru corectitudinea algoritmului de reinstalare automată și precizia cu care ea se realizează.

Conform determinărilor prezentate în [5.1], [5.2], [5.6], [5.7], [5.15], [5.16], [5.21], viteza maximă de uzură radială a sculei este:

$$v_{h,m} = 2 \cdot 10^{-6} \text{ m/min.} = 33,3 \cdot 10^{-9} \text{ m/s} \quad 5.10$$

Ea determină o viteză maximă de variație a diametrului barei cojite date de relația:

$$v_{d,m} = 2 \cdot v_{h,m} \quad 5.11$$

Examinând diagrama răspunsului elementului de execuție termoelectric (același cu cel utilizat în [5.1] datorită proprietăților și comportării sale absolut remarcabile), la semnal treaptă (egal cu tensiunea nominală de alimentare) - reprodusă după aceeași lucrare- având forma prezentată în figura 5.19 și observând că în jurul dilatației:

$$\Delta L = 0,12 \text{ mm} \quad 5.12$$

viteza de alungire a elementului de execuție este:

$$v_a = \frac{dL}{dt} = \frac{\Delta L_1}{\Delta t_1} = \frac{0,0568}{43,5} = 1,306 \cdot 10^{-3} \text{ mm/s} \quad 5.13$$

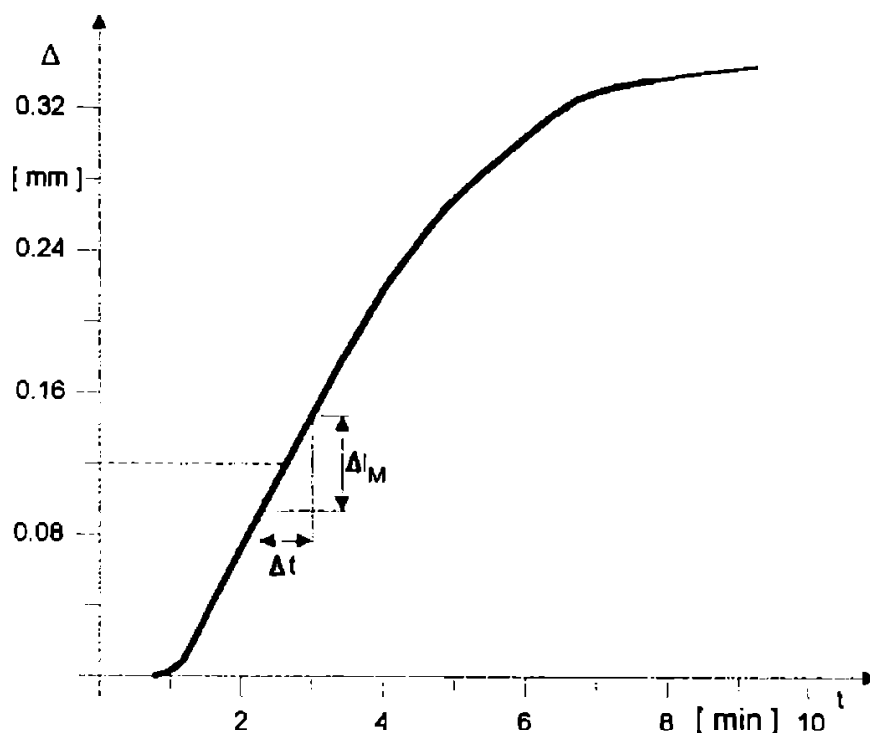


fig.5.19

mult mai mare decât viteza maximă de uzură a sculelor, devine evidentă constatarea că este optimă alimentarea acestuia cu o tensiune *rampă* care să determine o viteză de alungire cu valoarea situată în jurul vitezei maxime de uzură a sculei, adică:

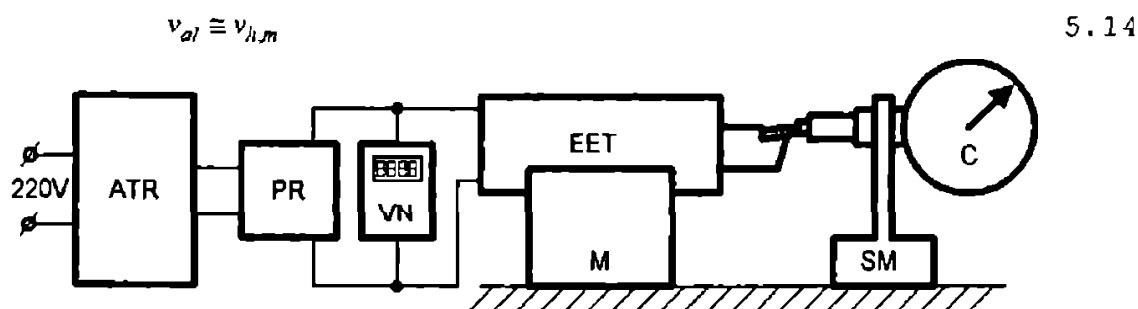


fig.5.20

Pentru stabilirea corelației dintre alungirea elementului de execuție termoelectric și tensiunea cu care este alimentată rezistența sa de încălzire s-a ridicat experimental caracteristica ei statică, prezentată în figura 5.21, utilizând montajul din fig.5.20 în care:

- ATR - autotransformatorul reglabil
- PR - puntea redresoare
- VN - voltmetrul numeric
- EET - elementul de execuție termoelectric

M - menhină
 SM - suport magnetic
 C - comparator pentru măsurarea alungirii.

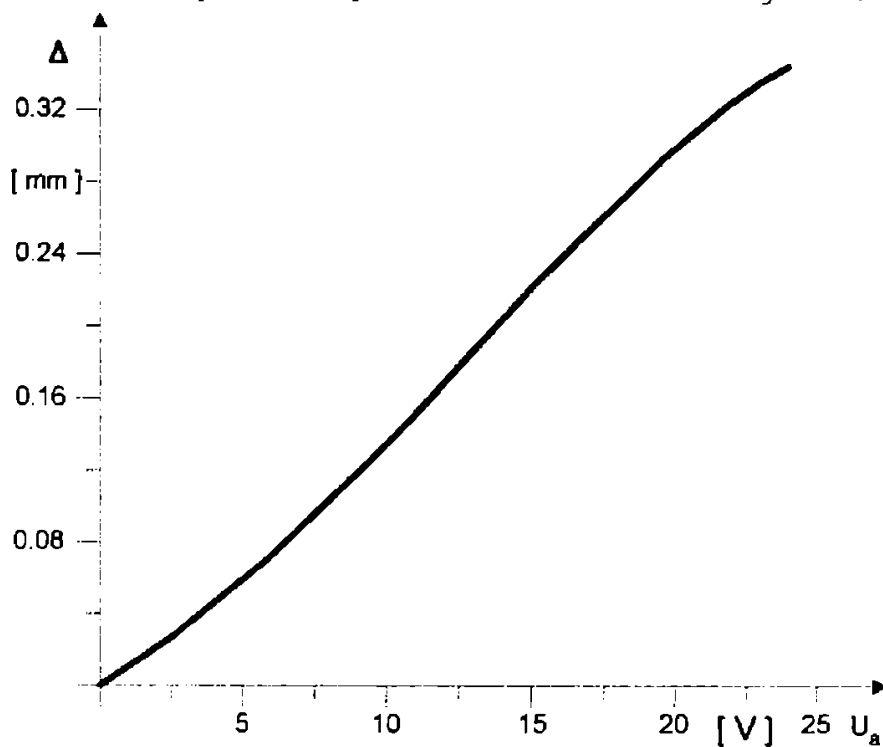


fig.5.21

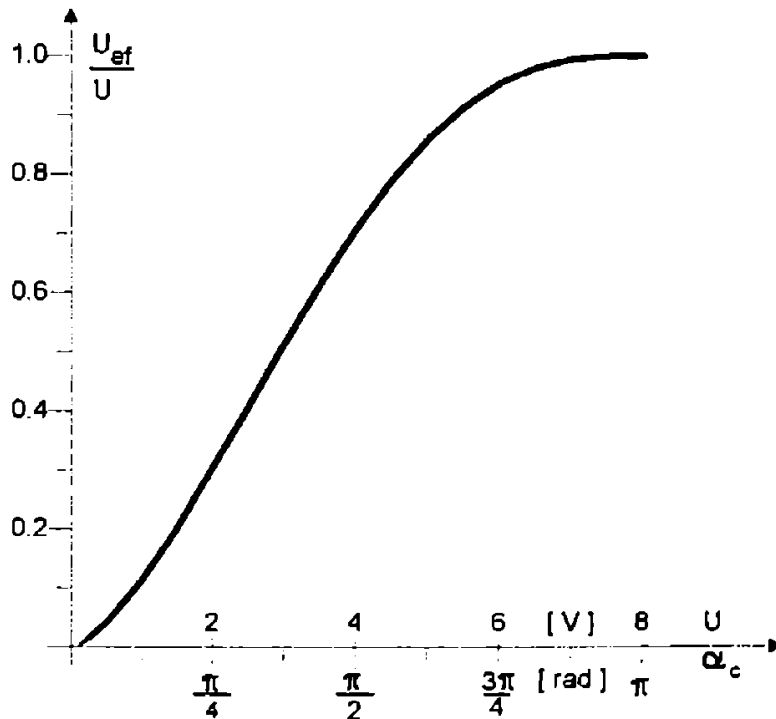


fig.5.22

Corelând grafic -figura 5.23- caracteristica alungirii funcție de tensiunea de alimentare a rezistenței elementului

de execuție termoelectric prezentată în figura 5.22 și transpusă în **c** cu cele care reprezintă respectiv valoarea efectivă a tensiunii la bornele rezistențelor elementelor de execuție funcție de unghiul de conducție **-b**, (calculată și prezentată în figura 5.15), unghiul de conducție funcție de tensiunea de comandă aplicată generatorului impulsurilor de comandă **-a**, reproducă după [5.11]/ se obține o caracteristică statică finală **-d**, ce prezintă variația alungirii ΔL funcție de tensiunea de comandă aplicată generatorului impulsurilor de comandă.

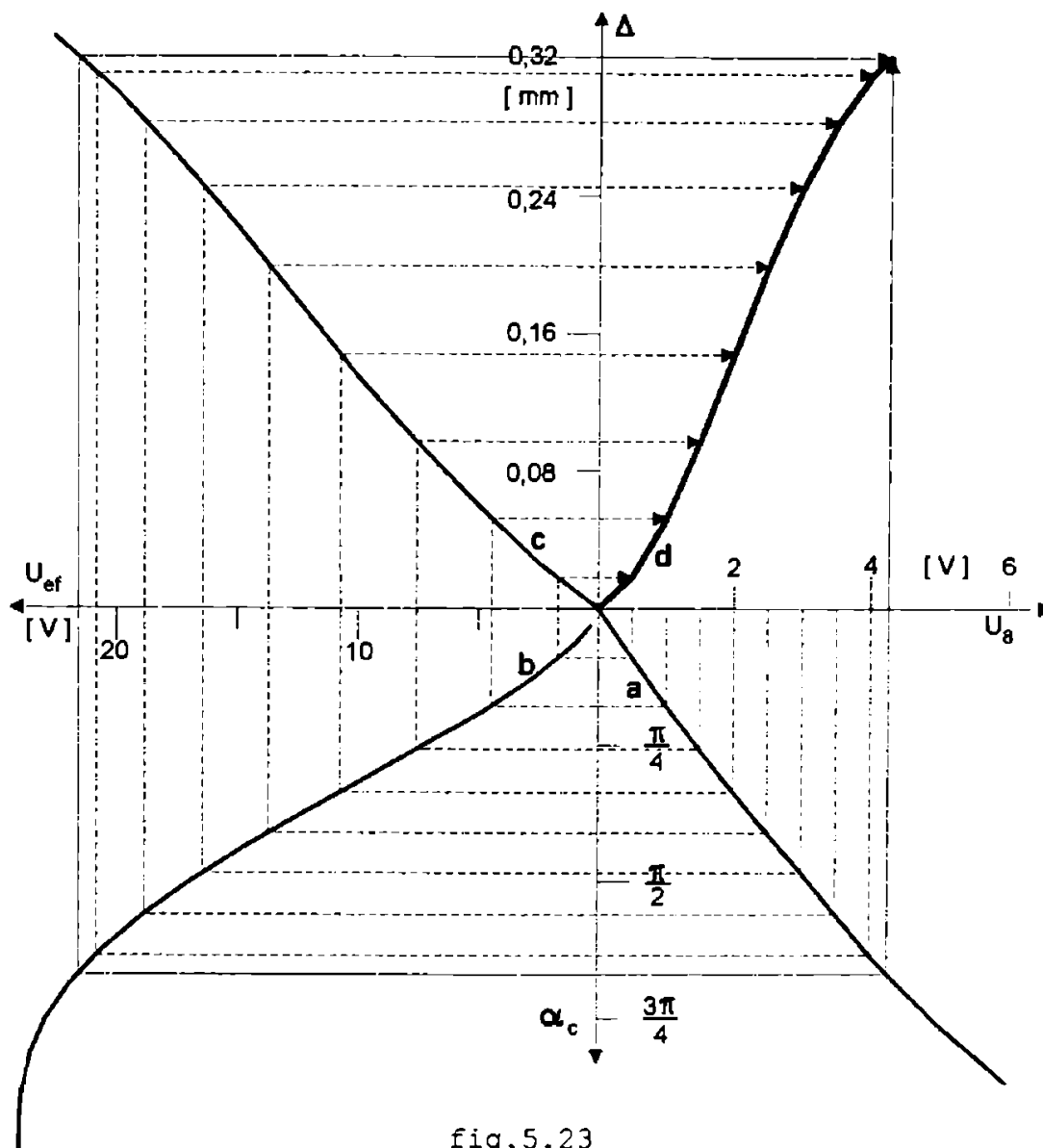


fig.5.23

Această ultimă caracteristică furnizează informații precise asupra valorii tensiunii ce trebuie aplicată generatorului pentru a se obține alungirea dorită.

În acest context concret, ținând seama de 5.13 și 5.16 s-a adoptat pentru viteza de alungire a elementului de execuție termoelectric valoarea:

$$v_{al} = 35 \cdot 10^{-9} \text{ m/s} \quad 5.15$$

Din diagrama -d a figurii 5.23 se observă că în zona cea mai defavorabilă - (0 ÷ 0,5) V, unei variații:

$$\Delta U_g = 0,5 \text{ V} \quad 5.16$$

ii corespunde o alungire:

$$\Delta L = 0,02 \text{ mm} \quad 5.17$$

adică:

$$\frac{\Delta U_g}{\Delta L} = \frac{0,5}{0,02} = 25 \text{ V/mm} \quad 5.18$$

Din relațiile de mai sus rezultă că pentru a se asigura viteza de alungire impusă este necesară o viteză de variație a tensiunii ce comandă generatorul impulsurilor de comandă obținibilă cu relația:

$$v_{Ug} = \frac{\Delta U_g}{\Delta t} = \frac{\Delta L}{\Delta t} \cdot \frac{\Delta U_g}{\Delta L} = v_{al} \cdot \frac{\Delta U_g}{\Delta L} = 0,875 \cdot 10^{-3} \text{ V/s} \quad 5.19$$

Ținând seama de faptul că în cazul alimentării elementului de execuție cu o tensiune rampă generată în trepte mici -fig.5.24- intervalul de timp după care se instalează un regim cvasistaționar este:

$$t_1 = (3,5 \div 4,5) \text{ min.} \quad 5.20$$

s-a calculat în continuare numărul maxim de trepte în care se va obține tensiunea U_{COM} care aplicată generatorului impulsurilor de comandă va determina alungirea elementului de execuție termoelectric cu o cantitate cel puțin egală cu uzura maximă admisă a sculei, după cum urmează:

S-a adoptat pentru t_1 valoarea acoperitoare:

$$t_1 = 5 \text{ min} \quad 5.21$$

în care elementul de execuție trebuie să compenseze prin dilatația sa $-\Delta l_c$ - o uzură a sculei dată de relația:

$$h_c = v_{h,m} \cdot t_1 \quad 5.22$$

$$\Delta l_c = h_c \quad 5.23$$

$$N = \frac{\Delta U_{\max}}{3 \cdot 60 \cdot v_{II}}$$

5.24

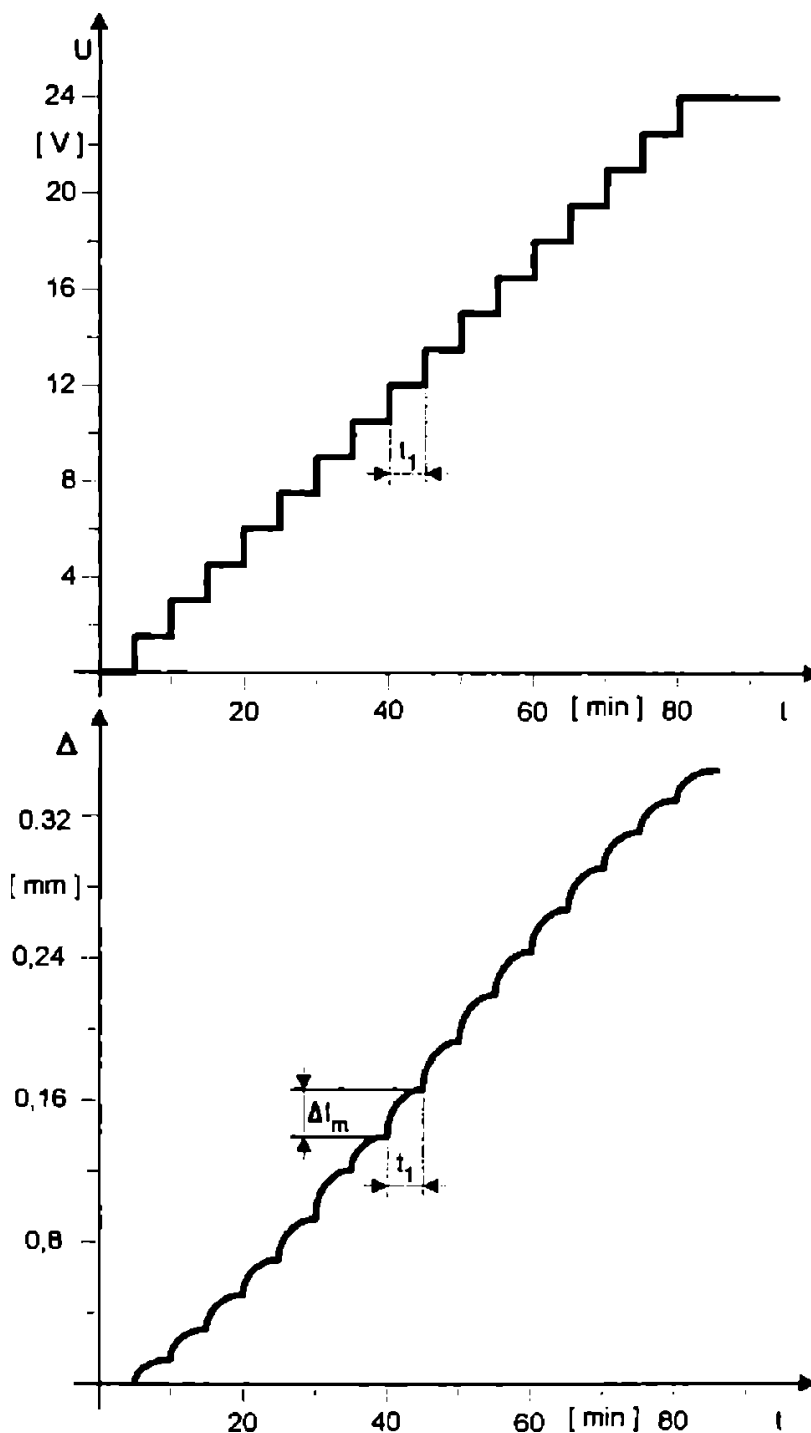


fig.5.24

Dintre diagramele de răspuns la tensiune rampă trasate în cursul experimentărilor s-a ales pentru reprezentare cea obținută cu trepte ce se succed la intervale de timp egale cu t_1 . Din analiza diagramei prezentate se constată următoarele:

- la semnal de comandă mare elementul de execuție termoelectric poate urmări și compensa prin reinstalare au-

tomată în intervalul admis de uzură al sculei ($0 \div 0,12 \text{ mm}$) o viteză de variație a acesteia:

$$v_{1,s} = \frac{\Delta l_M}{\Delta t} = 0,07 \cdot 10^{-3} \text{ m/min.} = 1,16 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} \quad 5.25$$

și o viteză de variație a diametrului barei cojite:

$$v_{1,d} = 2 \cdot v_{1,s} = 2,32 \cdot 10^{-6} \text{ m/s} \quad 5.26$$

- la semnal de comandă mic, în condițiile menționate ($t_1 = 5 \text{ min.}$) care asigură o suprareglare neglijabilă, pentru a putea urmări viteza maximă de variație a uzurii este necesar ca:

$$\frac{\Delta l_m}{t_1} \geq v_{h,m} \quad 5.27$$

$$\text{dar: } \frac{\Delta l_m}{t_1} = \frac{\Delta l_c}{t_1} \quad 5.28$$

$$\frac{\Delta l_c}{t_1} \geq v_{h,m} \quad ; \Delta l_c \geq v_{h,m} \cdot t_1 \quad 5.29$$

Pentru cazul concret considerat rezultă:

$$\Delta l_c \geq 2 \cdot 10^{-6} \cdot 5 = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad 5.30$$

adoptându-se valoarea limită:

$$\Delta l_c = 10 \cdot 10^{-6} \text{ m} \quad 5.31$$

În zona cea mai defavorabilă pentru asigurarea acestei cuante de dilatare este necesară conform diagramelor din figura 5.23 și relației 5.19 o cuantă a tensiunii U_8 având valoarea:

$$\Delta U_8 = \frac{\Delta U_8}{\Delta L} \cdot \Delta l_c = 0,25 \text{ V} \quad 5.32$$

Tot grafic se determină și numărul de trepte necesare obținerii dilatației totale, respectiv celei necesare compensării uzurii maxime admise a sculei așchietoare:

$$\Delta l_1 = 0,35 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad 5.33$$

Dar, conform celor arătate, uzura maximă admisă a sculei este:

$$h_r = 0,12 \cdot 10^{-3} \text{ m} \quad 5.34$$

și pentru compensarea ei este necesară alimentarea elementului de execuție termoelectric cu o tensiune a cărei valoare efectivă rezultă din diagrama 5.14 sau 5.16-c și este:

$$U_{ef,hr} = 9,06 \text{ V} \quad 5.35$$

Vizavi de cele mai sus expuse și de cerințele rezultând din structura bloc și funcționarea modului s-a adoptat pentru circuitul de urmărire și memorare schema de principiu din figura 5.26.

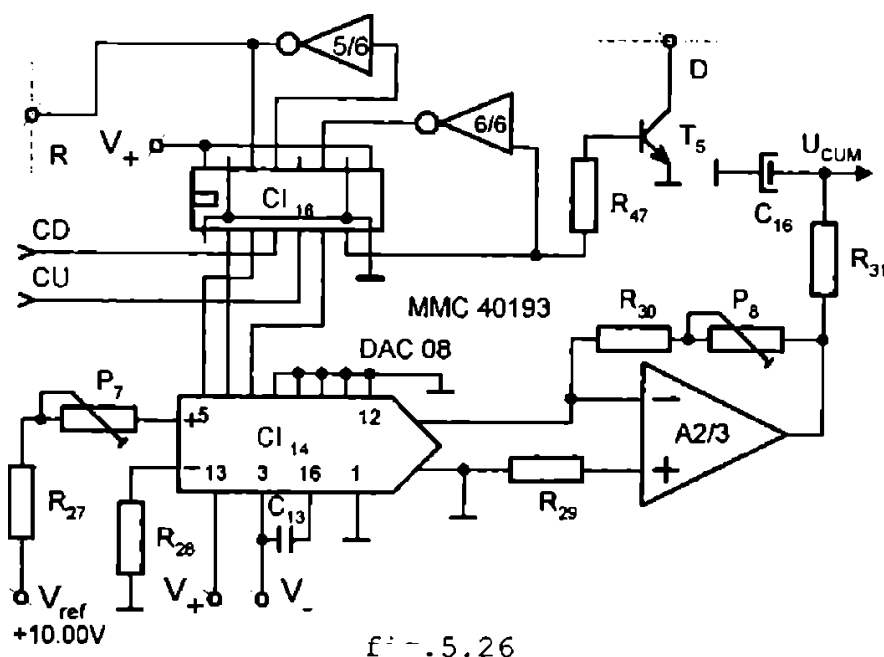


Fig. 5.26

Circuitul constă așa cum se observă dintr-un numărator binar sincron reversibil realizat cu circuitul integrat CI₁₆-MMC 40193 și convertorul digital analog realizat cu integratul CI₁₄-DAC 08. Tensiunea furnizată de acest circuit este dată de relația ușor deductibilă:

$$U_{CUM} = \frac{U_{ref}}{R_{27} + P_7} \cdot \frac{N}{16} \cdot (R_{30} + P_8) \cdot \frac{R_{cc}}{R_{31} + R_{cc}} \cong \frac{U_{ref}}{R_{27} + P_7} \cdot \frac{N}{16} \cdot (R_{30} + P_8) \quad 5.36$$

unde:

R_{cc} - rezistența de intrare a circuitului integrat pentru comandă în fază -CI₁₅ din componerea generatorului impulsurilor de comandă, mult mai mare decât R_{31}

Ținând seama de caracteristicile generatorului impulsurilor de comandă care acceptă la intrare tensiuni pozitive în intervalul $(0 \div 8) \text{ V}$ și de diagramele din figura 5.23 rezultă valoarea tensiunii de comandă necesare pentru compensarea uzurii maxime admise a sculei:

$$U_{8,n} = 1,73 \text{ V} \quad 5.37$$

obtenibilă cu un număr de cuante dat de relația:

$$N_n = \left[\frac{U_{8,n}}{\Delta U_8} \right] = \left[\frac{1,73}{0,25} \right] = [6,92] = 7 \quad 5.38$$

Acest număr determină valoarea tensiunii furnizate pentru obținerea dilatației necesare compensării uzurii maxime admise a sculei:

$$U_{CUM,hr} = N_n \cdot \Delta U_8 = 7 \cdot 0,25 = 1,75 \text{ V} \quad 5.39$$

Dar:

$$U_{CUM} = (R_{30} + P_8) \cdot \frac{N_n}{2^8} \cdot I_{REF} = (R_{30} + P_8) \cdot \frac{N_n}{2^8} \cdot \frac{V_{REF}}{R_{27} + P_7} \quad 5.40$$

Relația de mai sus servește pentru dimensionarea elementelor R_{27} , R_{30} , P_7 și P_8 ale schemei. Astfel, pentru respectarea relațiilor 5.30, 5.37, și 5.38 este necesar ca:

$$\frac{R_{27} + P_7}{R_{30} + P_8} = \frac{1}{2^8} \cdot \frac{V_{REF}}{\Delta U_8} = 0,15625 \quad 5.41$$

Formula de mai sus constituie relația de dimensionare a elementelor schemei electrice a circuitului vizavi de restricțiile tehnologice anterior enumerate. Evoluția conținutului numărătorului este determinată de impulsurile aplicate intrărilor de numărare directă (CU) sau inversă (CD) de la circuitul pentru comanda memorării (și urmării). Orice impuls aplicat intrării de numărare directă sporește conținutul numărătorului cu o unitate și determină creșterea tensiunii de ieșire cu o cantă, iar fiecare impuls aplicat intrării de numărare inversă determină scăderea tensiunii de ieșire cu o cantă.

Circuitul este prevăzut cu un artificiu care la apariția stării (LSB) 0001 (MSB) determină presetarea numărătorului în această stare (semnalizată spre automatul programabil care conduce ciclul mașinii-unelte prin nivelul coborât al potențialului punctului D), anularea tensiunii U_{CUM} și sistarea alimentării elementelor de execuție termoelectrice,

sistarea alimentării elementelor de execuție termoelectrice, urmând a se efectua operația de schimbare a capului cu cuțite. Această stare se va menține atâta vreme cât nu se va aplica circuitului (modulului) comanda *RESET*.

Comanda *RESET* (efectuată manual sau recepționată de la automatul programabil ce conduce ciclul mașinii-unelte de fiecare dată când mașina de cojit bare a fost oprită pentru montarea unui nou set de scule așchietoare în locul celor a căror uzură a depășit valoarea maximă admisă), activă în starea logică 1, anulează prioritar și asincron conținutul numărătorului și evident și tensiunea la ieșirea circuitului de urmărire și memorare.

5.2.5 Generatorul impulsurilor de comandă

După cum s-a mai arătat experiențele și testele efectuate în cursul elaborării referatelor au arătat că modalitatea optimă de alimentare a rezistențelor de încălzire este cea continuă, cu o tensiune având valoare efectivă proporțională cu abaterea de diametru ce trebuie compensată.

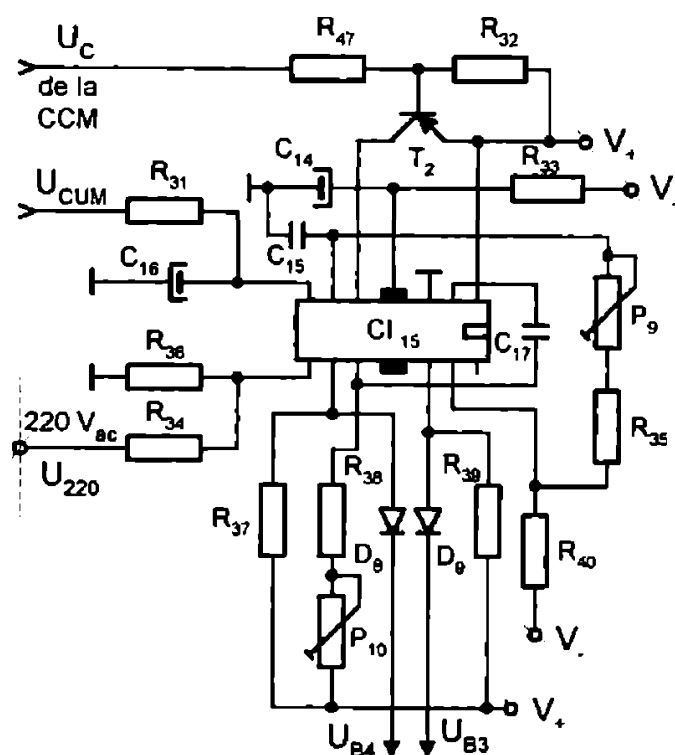


fig. 5.27

fiind proporțională cu valoarea efectivă a tensiunii aplicate s-a dovedit utilă reprezentarea grafică a raportului dintre valoarea efectivă a acesteia $-U_{ef}$ și valoarea efectivă a tensiunii de alimentare.

Dar:

D
m.
-
tului de execuție termoelectric desfășurându-se cu o constantă de timp mare alimentarea în impulsuri cu frecvență dublă dublul frecvenței rețelei este echivalentă din punctul de vedere al variației lungimii elementului de execuție cu alimentarea în curent continuu.

Alimentarea de la rețea cu factor de umplere variabil reglat prin comanda în fază s-a dovedit a fi soluția cea mai simplă, mai precisă și mai eficientă. Alungirea elementului de execuție termoelectric

$$U_{ef,\alpha} = \sqrt{\frac{2}{T} \cdot \int_{\alpha}^{\pi} U^2 \cdot \sin^2 \omega t \cdot dt} = U \cdot \sqrt{\frac{\pi - \alpha + 0,5 \cdot \sin 2\alpha}{\pi}}, \quad 5.42$$

adică:

$$\frac{U_{ef,\alpha}}{U} = \sqrt{\frac{\alpha_c + 0,5 \cdot \sin 2(\pi - \alpha_c)}{\pi}} \quad 5.43$$

unde:

α - unghiul de aprindere al tiristoarelor din circuitul de putere

α_c - unghiul de conducție al lor

$$\alpha = \pi - \alpha_c$$

Funcție de unghiul de conducție $-\alpha_c$ - acest raport exprimat prin relația 5.43 este reprezentat grafic în figura 5.22. Din analiza curbei se observă că în zona ce prezintă interes, corespunzătoare intervalului tensiunilor de comandă din zona admisă de uzură a sculei caracteristica:

$$\frac{U_{ef}}{U_{ef,m}} = f(L8)$$

nu are abateri semnificative de la liniaritate. Mai mult chiar ea prezintă o liniaritate mai mult decât suficientă și pentru valori ale tensiunii de comandă a fazei ce depășesc și valoarea $U_{CCM,max}$.

Această observație fundamentează alegerea soluției de comandă în fază a circuitului de putere, realizată cu generatorul impulsurilor de comandă prezentat în figura 5.27. Circuitul este realizat într-o schemă adaptată cerințelor impuse de specificul modulului, regăsindu-se totuși elementele cu caracter tipic din aplicațiile de comandă în fază. Circuitul primește la intrare semnalele:

U_C - de la CCM pentru blocarea impulsurilor spre circuitul de putere, situație ce survine în două cazuri și anume:

- s-a depășit limita admisă de uzură
- uzura este așa de mică încât comanda cu unghi de conducție minim ar determina o dilatație mult mai mare decât cea necesară. Intrarea alocată acestui semnal este activă în starea 1 logic.

U_{220} - semnalul pentru referința fazei

U_{CCM} - de la circuitul de urmărire și memorare și furnizează două impulsuri corespunzătoare alternanțelor tensiunii rețelei U_{B3} și U_{B4} , care se transmit circuitului de putere. Durata acestor impulsuri, corelată cu forma și amplitudinea comenzii asigurate de amplificatoarele de impulsuri

este reglabilă, conform /2.5/ și /5.10/, astfel încât să se poată asigura comanda optimă a tiristoarelor din structura circuitului de putere, indiferent de tipul capului de cojit utilizat (din punctul de vedere al numărului de cuțite și al eventualelor particularități ale elementului de execuție termoelectric din componență).

5.2.6 Circuitul pentru comanda memorării și urmării

Este circuitul cu structura cea mai complexă din compunerea modulului, fapt ce se explică prin aceea că el conduce de fapt întregul ciclu de generare a tensiunii pentru comanda în fază a etajului final. Această structură este determinată de funcțiunile specifice îndeplinite în cadrul modulului și anume:

- compararea tensiunii furnizate de circuitul de urmărire și memorare cu cea furnizată de demodulatorul de măsură, generând semnalul **A** care determină sensul de numărare pentru circuitul de urmărire și memorare
- compararea tensiunii furnizate de același circuit cu două praguri limită (minimă și maximă) generând semnalul **B** pentru inhibarea comenzii de încălzire a elementului de execuție și semnalul **C** pentru inhibarea comenzii circuitului de putere dacă uzura cuțitelor nu a atins încă o valoare minimă sau a depășit valoarea maximă admisă
- validarea generării și transmiterii succesiunilor de impulsuri de numărare directă (**CU**) sau a celor de numărare inversă (**CD**), către circuitul de urmărire și memorare doar la intervale de timp egale cu t_1 .

Față de aceste funcțiuni impuse în ultimă instanță de caracteristicile elementului de execuție termoelectric și de particularitățile procedurii de compensare a uzurii la cojirea barelor prin reinstalare automată la cotă s-a adaptat pentru circuitul pentru comanda memorării schema de principiu din figura 5.28.

Funcțiunile de comparare sunt implementate cu secțiunile C1/4, respectiv C2/4 și C3/4 ale comparatorului cuadruplu integrat CI₄-βM2901.

Semnalul **S**, preluat de la senzorul (inductiv) pentru existența barei (SEB) având etajul final cu tranzistor npn-open collector, conform corespondențelor:

$S=0$, există bară în elementul de măsurare inductiv

$S=1$, nu există bară în elementul de măsurare inductiv,

se transmite circuitelor logice combinaționale pentru generarea semnalelor **CU** și **CD** printr-o celulă de filtrare și protecție împotriva perturbațiilor sau supratensiunilor accidentale, realizată cu elementele R₁₀, C₁₀, D₃, D₄, D₅.

Generarea impulsurilor de numărare înainte (CU) și înapoi (CD) se realizează conform ecuațiilor logice:

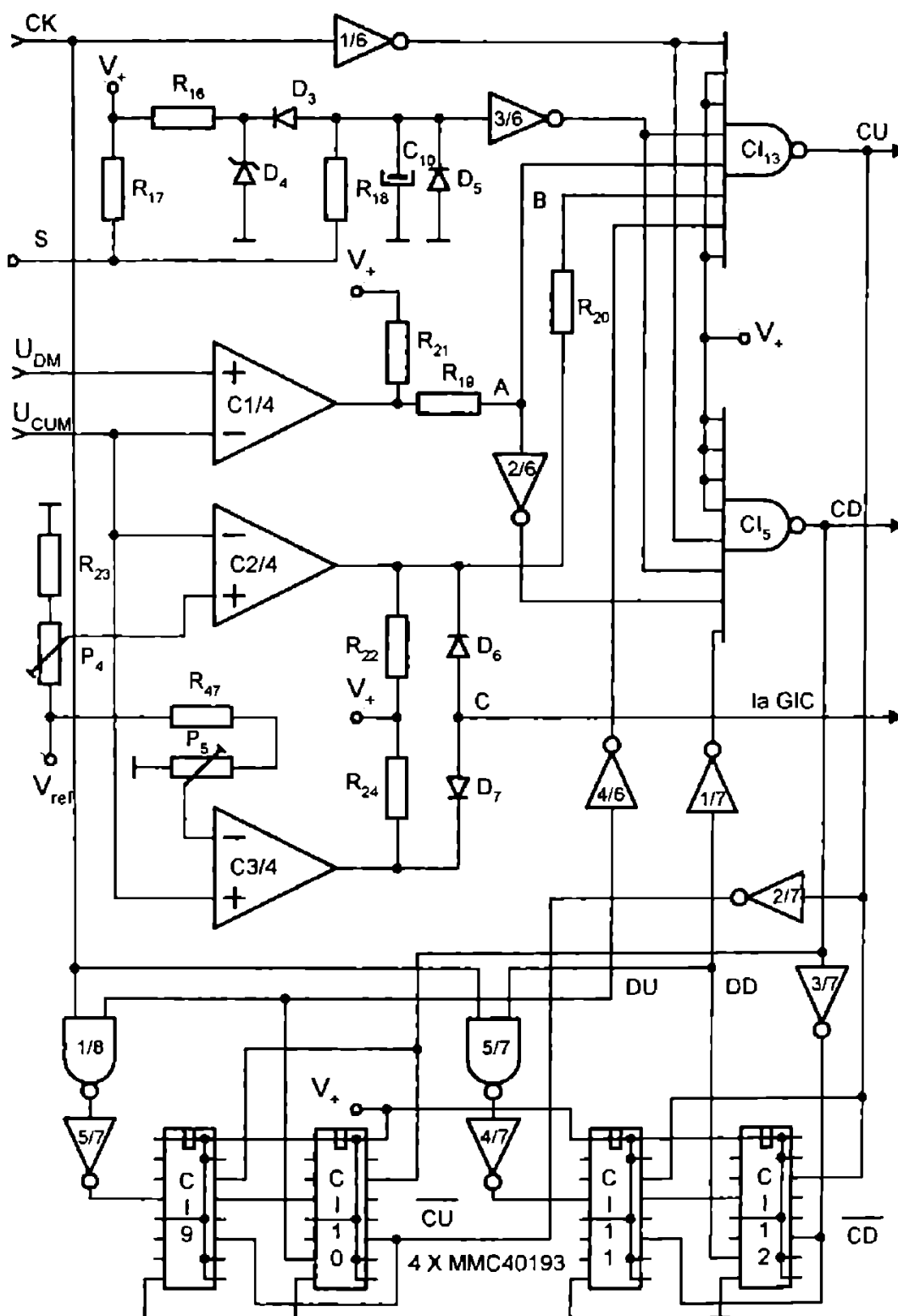


fig.5.20

$$CU = \overline{CK \cdot \overline{S} \cdot A \cdot B \cdot DU} \quad 5.44$$

$$CD = \overline{CK \cdot \overline{S} \cdot A \cdot DD} \quad 5.45$$

implementate cu două porți NAND în tehnologie CMOS, CI₅ și CI₁₃ de tip MMC4068.

Semnificațiile semnalelor logice neamintite anterior sunt:

CK - semnal de tact

$DU=1$ intervalul de timp (t_u) scurs de la transmiterea precedentului impuls CU și t_1 se află în relația:

$$t_u \leq t_1 \quad 5.46$$

$DU=0$ intervalul de timp (t_u) scurs de la transmiterea precedentului impuls CU și t_1 se află în relația:

$$t_u \geq t_1 \quad 5.47$$

$DD=1$ intervalul de timp (t_d) scurs de la transmiterea precedentului impuls CD și t_1 se află în relația:

$$t_d \leq t_1 \quad 5.48$$

$DD=0$ intervalul de timp (t_d) scurs de la transmiterea precedentului impuls CD și t_1 se află în relația:

$$t_d \geq t_1 \quad 5.49$$

Prezența semnalelor DU și DD în relațiile 5.35 ce definesc semnalele CU și CD este determinată de necesitatea eliminării suprareglărilor ce s-ar datora răspunsului lent al elementului de execuție, conform celor precizate în paragrafele anterioare.

Din examinarea aceluiași relații se observă că în timp ce intervalul minim după care se pot succeda două impulsuri cu același efect, este :

$$t_1 = 5 \text{ min.} \quad 5.50$$

orice impuls având efect contrar celui precedent îl poate succeda pe acesta la un interval de timp mult mai mic, egal cu perioada semnalului de tact $-CK$, neglijabil în raport cu constanta de timp a elementului de execuție termoelectric. Acest artificiu, care constituie una din contribuțiile acestui capitol permite realizarea a două condiții total antago-

niste care sunt *eliminarea suprareglării sau / și defazajului* în cazul unui element de execuție lent, comandat în urma unei variații lente și *asigurarea unei precizii de reglare superioare* (practic în decursul experimentărilor abaterea diametrului a fost menținută mai mică decât o cuantă de dilatare.

Din dorința de-a obține cu suficientă precizie și stabilitate o valoare așa de mare a intervalului minim de succesiune $-t_1-$ pentru ambele tipuri de impulsuri pentru s-a adaptat o schemă de temporizare cu câte două numărătoare binare sincrone presetabile, CI₉ și CI₁₀ respectiv CI₁₁ și CI₁₂, de tip MMC40193.

În ipoteza că de la precedentul impuls de același tip a trecut un interval de timp $t_v \geq t_1$ (sau $t \geq t_1$) deci $DU=0$ (sau $DD=0$) primul impuls **CU** (sau **CD**) care sosește determină presetarea numărătorului de 8 biți aferent **-NU-** (**ND**) în starea **1111111** și resetarea celui alt numărător.

Din acest moment datorită trecerii bitului NU (ND) cel mai semnificativ al numărătorului presetat în starea 1 impulsurile de tact nu determină impulsuri de numărare **-CU** (**CD**), putând însă în orice moment să determine un impuls de numărare complementar **-CD** (**CU**).

Numărătorul anterior presetat **-NU** (**ND**) își va scădea conținutul la fiecare impuls de tact, cel resetat nemodificându-și conținutul. După:

$$N = 2^7 - 1$$

5.51

impulsuri de tact conținutul numărătorului **NU** (**ND**) trece în starea **0111111** determinând $DU=0$ ($DD=0$). Dacă și celelalte semnale logice permit, următorul impuls de tact se transmite prin poartă generând un nou impuls în același sens. Dacă nu, numărătorul rămâne în "așteptare" permițând de-acum încolo în orice moment generarea unui impuls de numărare în același sens. Întrucât orice impuls de numărare **CU** (**CD**) determină așa cum s-a arătat resetarea numărătorului complementar **-ND** (**NU**)-circuitul este capabil să furnizeze în orice moment un impuls complementar celui de la tactul anterior.

Așa cum rezultă din cele expuse durata minimă între două impulsuri succesive de același fel este:

$$T_s = (2^7 - 1) \cdot T_{CK} = t_1$$

5.52

unde:

$$T_{CK} = \text{perioada tactului}$$

5.2.7 Generatorul de tact

Pentru realizarea acestui circuit s-a utilizat circuitul integrat specializat CI₁, MMC4047 în montaj de astabil cu funcționare continuă, conform schemei din figura 5.29.

Conform celor cunoscute, [5.12], [5.13], perioada impulsului generat de acest circuit la borna 10 (sau 11) este:

$$T_{CK} = 4,4 \cdot (R_{25} + P_6) \cdot C_{11} \quad 5.53$$

independentă de tensiunea de alimentare, dar dependentă de tensiunea de tranziție a circuitului integrat utilizat. Abaterea maximă posibilă a valorii ei, conform [5.12] și [5.13] este +5%. Din relațiile 5.41 și 5.42 rezultă:

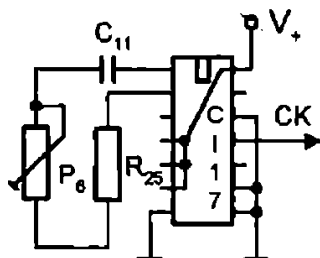
$$(2^7 - 1) \cdot T = (2^7 - 1) \cdot 4,4 \cdot (R_{25} + P_6) \cdot C_{11} = T_s = t_1 \quad 5.54$$

În cazul concret al aplicației cu elementul de execuție menționat se obține:

$$(R_{25} + P_6) \cdot C_{11} = 68,18 \text{ s}, \quad 5.55$$

obținută cu valorile menționate mai jos:

$$\begin{aligned} C_{11} &= 100 \text{ } \mu\text{F} \\ R_{25} + P_6 &= 680 \text{ k}\Omega \\ R_{25} &= 550 \text{ k}\Omega \\ P_6 &= 250 \text{ k}\Omega \end{aligned} \quad 5.56$$



MMC 4047

fig.5.29

Rolul semireglabilului P_6 este de-a ajusta frecvența oscilatorului la valoarea impusă pentru diferite valori ale tensiunii de tranziție sau în limite ceva mai largi dacă o altă aplicație o impune. Modificarea în limite foarte largi a frecvenței tactului se poate obține prin schimbarea unuia sau altuia dintre elementele R sau C (sau a amândurora), această ultimă necesitate putând interveni doar în cazul utilizării modu-

lului într-o altă aplicație.

5.2.8 Circuitul de putere

Acest circuit are menirea de-a asigura alimentarea elementului de încălzire din componența elementului de execuție termoelectric cu o tensiune cu valoarea efectivă determinată

prin comandă în fază, utilizând generatorul prezentat în paragraful 5.2.7. Conform [5.1] puterea necesară pentru comanda completă a elementului de execuție termoelectric este:

$$P_1 = 29 \text{ W} \quad 5.57$$

În condițiile utilizării capului cu număr maxim de cuțite (8) puterea totală maximă necesară pentru comandă a fost:

$$P_i = 8 \cdot P_1 = 232 \text{ W} \quad 5.58$$

Alimentarea făcându-se la tensiunea nominală de **24 V**, curentul maxim ce ar urma să fie controlat prin circuitul de putere în cazul comenzii complete ar fi:

$$I_{\max,c} = 9,66 \text{ A} \quad 5.59$$

Deși în regim normal de funcționare nu va exista comandă cu *undă plină*, curentul maxim fiind:

$$I_{\max,n} \cong 4 \text{ A} \quad 5.60$$

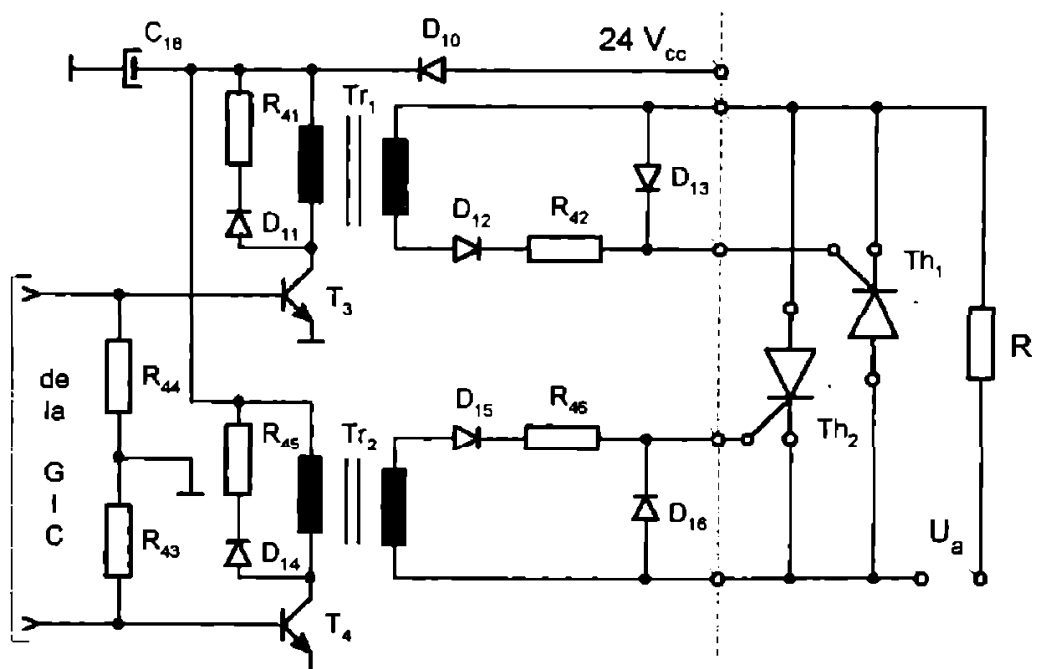


fig.5.30

alegerea tiristoarelor trebuie să țină seamă și de posibilitatea avansată de relația 5.59.

Așa cum s-a mai menționat soluția optimă ce a rezultat a fost utilizarea unui contactor static de curent alternativ realizat cu două tiristoare conectate în antiparalel. Pentru protecția eficientă a modului s-a adoptat soluția separării galvanice a circuitelor de comandă de cele de forță.

Conform acestor considerații s-a adoptat pentru circuitul de putere schema de principiu din figura 5.30. Constructiv contactorul static n-a fost plasat pe placa de circuit imprimat a modulului datorită curenților mari ce ar solicita contactele conectorului său. Separarea galvanică s-a asigurat cu transformatoarele de impulsuri T_{r1} și T_{r2} din compunerea celor două amplificatoare de impulsuri. Comanda prin aceste amplificatoare care furnizează "impulsuri tari" determină conform [2.5] și [5.14] amorsarea rapidă și sigură a tiristoarelor.

5.3 Contribuții originale și concluzii parțiale

Din analiza stadiului actual al problematicii reinstalării automate la cotă în cazul general al prelucrării pe mașini-unelte și în cel special al cojirii barelor se desprind câteva concluzii interesante:

- producătorii din Japonia utilizează compensarea uzurii pe baza unor calcule statistice efectuate în urma unor măsurători efectuate pe loturi mari de scule așchietoare cu proprietăți constante putându-și permite "luxul" de a nu utiliza compensarea efectuată în urma controlului activ al dimensiunii piesei.
- producătorii de mașini de cojit bare europeni și americani nu utilizează compensarea uzurii sculei prin reinstalarea ei automată la cotă.
- în domeniul cojirii barelor există o realizare experimentală cu bune rezultate în condiții industriale [5.1]. Aceasta include un element de execuție termoelectric cu foarte bune caracteristici mecanice și un bloc de comandă electromecanic cu performanțe mai modeste care nu a reușit să pună în valoare decât parțial proprietățile remarcabile (pentru acest tip de aplicație) ale elementului de execuție termoelectric. Acest neajuns a fost eliminat prin conceperea, realizarea și experimentarea modulului electronic de comandă care a fost prezentat detaliat în acest capitol.

Contribuțiile originale aduse prin realizarea acestui modul constă în:

- conceperea unei scheme bloc care interconectată doar cu un element de măsurare inductiv adecvat realizează toate funcțiunile necesare efectuării reinstalării automate la cotă cu precizie mult îmbunătățită față de realizările actuale cunoscute.
- conceperea unui demodulator de măsură precis, fiabil, simplu, performant și optim pentru controlul dimensional în astfel de tipuri de aplicații.
- determinarea prin experimentări a variantei optime de alimentare (**continuă**) a elementelor de execuție termoelectrice.

- adoptarea unui algoritm pentru comanda încălzirii care să elimine suprareglările și defazajele
- eliminarea "reglărilor" nedorite pe durata absenței barei din elementul de măsurare inductiv (de fapt din sesizorul existenței barei) prin menținerea constantă a încălzirii elementului de execuție termoelectric în acest interval de timp. Prin acest artificiu fiecare nouă bară prelucrată va avea până la intrarea în elementul de măsurare inductiv diametrul celei prelucrate anterior (care îndeplinea evident condiția încadrării în câmpul de toleranță prescris de standarde).
- armonizarea în interconectare și funcționare a unor circuite cunoscute cu altele concepute de autor, pentru realizarea unui modul electronic original și funcțional în cadrul unei mașini cu performanțe sensibil îmbunătățite.
- conceperea unui modul electronic de comandă pentru reinstalarea automată la cotă a cuțitelor unui cap de cojit utilizabil pentru întreaga gamă de mașini de cojit bare (mici, mijlocii, mari).

Cap.6 Concluzii

Experiența acumulată cu ocazia documentării efectuate pe parcursul realizării tezei, experimentării modulelor prezentate și a punerilor în funcțiune la beneficiar a sistemelor de comandă adaptivă și de protecție a sculelor realizate de Colectivul de cercetare-proiectare-dezvoltare Mașini-unelte din Catedra TCM a Universității "Politehnica" Timișoara poate fi sintetizată în câteva concluzii de ordin general și anume:

1. Pe plan mondial se manifestă o competiție acerbă, aparent nedeclarată între constructorii prestigioși și performanți de mașini-unelte îndreptată în direcția acaparării pieței și clientelei solvabile printr-o ofertă generoasă de produse de mare productivitate și înaltă tehnicitate. De pe această piață lipsesc în mod cu totul nejustificat producători autohtoni cu bune tradiții și realizări remarcabile în domeniu.

2. Producătorii prezenți pe piața mondială cu o producție de calitate au avut și au în continuare o preocupare permanentă și coerentă în direcția stimulării dezvoltării industriei orizontale producătoare și ofertante de componente modulare cu intrări și ieșiri unificate cu care se pot asambla mașini-unelte performante cu destinații dintre cele mai diverse.

3. În țară există un potențial remarcabil de cunoștințe teoretice, abilități execuționale și know-how parțial necunoscut și din păcate adesea ignorat de către factorii decizionali de nivel superior, potențial a cărei punere în valoare constituie o condiție **sine qua non** a progresului tehnic, economic, social și al creșterii nivelului de trai al membrilor societății.

4. În permanență în cursul activității de cercetare și proiectare a sistemelor de comandă adaptivă s-a resimțit deosebit de acut lipsa unor componente și servocomponente automatizate sau automatizabile care să poată prelua și prelucra semnale din circuitele specifice ale comenzilor adaptive sau sistemelor de protecție a sculelor.

5. Realizarea unor sisteme de comandă adaptivă, de protecție a sculelor, de măsurare a forțelor sau/și momentelor care solicită mașina-unelte sau a altora similare care cresc substanțial performanțele acestora impun existența unor tractoare și module de prelucrare a semnalelor furnizate de acestea, performante și accesibile în primul rând din punctul de vedere al prețului de cost.

6. Situațiile anterior prezentate au făcut necesară intercalarea în activitatea de cercetare-dezvoltare a disciplinelor de mașini-unelte a unor segmente dedicate acestor direcții. O parte a realizărilor au fost prezentate în lucrare constituindu-se ca și contribuții originale în domeniul automatizării elementelor și sistemelor componente ale

mașinilor-unelte. Astfel fără a se dori repetarea concluziilor ce încheie fiecare capitol al tezei este utilă sintetizarea contribuțiilor prezentei teze, constând în:

- Stabilirea unor corelații între parametrii caracteristici ai comenzii adaptive (ex. gradul de insensibilitate), condiții impuse de beneficiar sau particularități ale cazului tehnologic concret pe de-o parte și elemente de circuit care le determină (rezistențe, capacități, inductivități, amplificări, atenuări) pe de-altă parte, concretizate în expresii utilizabile cu operativitate la proiectarea sistemului.

- Înlocuirea compensării manuale a puterii electrice consumate în gol și a tensiunii reziduale din puntea cu transductoare inductive pentru măsurarea forțelor, care trebuia efectuată înaintea pornirii avansului, (greoaie, lentă și imprecisă, necesitând intervenția operatorului) cu compensarea automată rapidă și precisă efectuată la începutul fiecărui ciclu de lucru sau fază de așchiere, operația durând maxim o secundă.

- Creșterea substanțială a preciziei globale cu care se realizează măsurarea puterii, forțelor de așchiere, momentelor de torsiune și ca o consecință optimizarea procesului de așchiere, prin eliminarea erorilor determinate de compensarea efectuată înaintea pornirii avansului de lucru. În toate cazurile de măsurare automată compensarea componentelor reziduale se realizează după stingerea efectelor determinate de regimurile tranzitorii ce însoțesc pornirea electromotoarelor și declanșarea avansurilor (de lucru sau rapide) prin introducerea unei temporizări suplimentare reglabile și adaptabile cu ușurință unei multitudini de cazuri tehnologice concrete fără a fi afectată capacitatea de producție.

- Implementarea facilităților de autodiagnosticare și autotestare care au determinat reducerea duratei eventualelor întreruperi datorate defecțiunilor comenzii adaptive, respectiv ale blocului de măsurare a mărimii controlate într-o construcție ce permite testarea modulului fără instrumentație și fără extragerea sau separarea sa din subsamblul comenzii adaptive. Testarea menționată se efectuează foarte rapid (maxim un minut) utilizând în exclusivitate microbutoanele speciale menționate.

- Proiectarea, realizarea și experimentarea unui detector de anvelopă și a unui detector sensibil la fază simplă, precise, fiabile, și ieftine, adecvate prelevării și prelucrării semnalului obținut de la punțile senzorilor cu transductoare magnetoelastice sau de alte tipuri și introducerea lor în structura unor module specifice măsurării forțelor utilizând senzori magnetoelastici.

- Utilizarea detecției sensibile la fază folosind o purtătoare cu fază decalată, fapt ce permite așa cum s-a arătat, măsurarea unor solicitări în oricare din sensurile unei direcții alese.

- Realizarea și experimentarea unor comutatoare statice pentru selectarea perechii *mărime de referință - mărime controlată* în condiții de maximă fiabilitate, siguranță și imunitate la perturbații și încorporarea lor în sisteme de comandă adaptivă care au devenit astfel mult mai performante și fiabile.

- Realizarea și experimentarea a unor circuite pentru supravegherea funcționării servosupapei-releu și servopompei reglabile cu asigurarea protecției simultane a servomicromotorului din compunerea lor și a etajului final, utilizând un alt principiu decât cele cunoscute și aplicate până în prezent, bazat pe monitorizarea funcționării, inhibarea totală a comenzii în caz de anormalitate și testarea periodică a stării ieșirilor. Dacă circuitul de protecție "constată" că s-a reinstalat starea de normalitate (de la sine sau în urma intervenției operatorului) se suprimă inhibarea și se reia funcționarea normală. Din acest punct de vedere modulul pentru comanda servosupapei-releu și servopompei nu numai că se autodiagnosticează dar se și află în "dialog" secvențial cu servocomponentul comandat, monitorizat și diagnosticat.

- Posibilitățile reglării simple a gradului de insensibilitate și a modelării comportării dinamice al unui servocomponent (și prin el a sistemului în care funcționează - *de regulă comanda adaptivă*) prin operare exclusivă asupra câtorva elemente pasive de circuit din structura modulului electronic de comandă. Valoarea acestui "punct câștigat" poate fi percepută la dimensiunile ei reale dacă se încearcă modificarea sensibilității unui sistem de comandă sau reglare (nu neapărat adaptivă) sau modelarea comportării sale prin operare asupra servocomponentului sau a altui subansamblu mecanic, hidraulic sau combinat.

- Elaborarea și implementarea unui algoritm și a unui modul electronic pentru comanda unui element de execuție foarte lent (în cazul concret considerat termoelectric) care să elimine suprareglările și defazajele, utilizând un artificiu care permite comenzi rapide de revenire în condițiile în care comenzile succesive în același sens se pot succeda doar foarte lent

- Eliminarea "reglărilor" nedorite pe durata absenței barei din elementul de măsurare inductiv (de fapt din sesizorul existenței barei) prin menținerea constantă a încălzirii elementului de execuție termoelectric în acest interval de timp. Prin acest artificiu fiecare nouă bară prelucrată va avea până la intrarea în elementul de măsurare inductiv diametrul celei prelucrate anterior (care îndeplinea evident condiția încadrării în câmpul de toleranță prescris de standarde). Modulele electronice elaborate și experimentate și implementate în structura unor mașini-unelte acceptă și/sau furnizează semnale unificate de tensiune putând fi utilizate

cu bune rezultate și în alte aplicații de automatizare din domeniul mașinilor-unelte și nu numai.

8. Munca depusă se va considera cu adevărat eficientă în măsura în care provocarea pe care am dorit să o lansez prin această lucrare va fi acceptată de specialiștii din domeniul mașinilor-unelte, electronicii, tehnicii de calcul și din cele conexe.

9. Rezultatele enumerate poartă amprenta de neșters a creatorului Școlii românești a comenzilor adaptive,

Regretatul Profesor Doctor Inginer EUGEN DODON

Cu regretul că numai acum pot să o fac îi mulțumesc celui care a fost Profesorul și Omul de știință Dr.Ing. Dodon Eugen pentru îndrumarea atentă, sugestiile, criticile și încurajările de care am beneficiat. Îi voi purta neștearsă amintire.

Totodată îmi exprim recunoștința față de Profesorul Doctor Inginer Nicolae Budișan, prieten și competent cunosător al preocupărilor Profesorului Eugen Dodon și a colaboratorilor săi, care după decesul acestuia a avut bunăvoința de-a accepta preluarea conducerii și îndrumării activității mele în cadrul doctoranturii până la finalizarea ei prin redactarea prezentei teze.

Bibliografie

Cap. 2

- /2.1/. I. Köles Metodă pentru măsurarea automată puterii în aşchiere. A method of automatic power measurement in cutting. ICATE 1991 Craiova
- [2.2]. L. Manolescu Măsurări electrice și electronice Ed. didactică și pedagogică, București
ș.a.
- [2.3]. N. Buliga Regimurile de aşchiere. Precizia și de terminarea încercărilor la danturarea cu freză melc - Referat de doctorat - Timișoara. Cond. științific prof dr. ing E. Dodon.
- [2.4]. K. Ziegler Untersuchung der Hauptschmittkraft beim Walzfrasen von Stirnraern, Dissertation, T.M. Aachen, 1967.
- [2.5]. *** Traductoare de putere, curent, tensiune, frecvență, factor de putere. Pr. IAEM-Timișoara.
- [2.6]. *** Catalog de produse- Electromotor SA-Timișoara
- [2.7]. Al. Fransua Mașini și sisteme de acționări electrice. Probleme fundamentale, Ed. tehnică București 1979
ș.a.
- [2.8]. A. Kelemen Acționări electrice, Ed. didactică și pedagogică - București.
- [2.9]. M. Bodea Circuite integrate liniare- Manual de utilizare - vol III. Ed. tehnică, București 1984.
ș.a.
- [2.10]. *** Circuite integrate liniare -catalog IPRS Băneasa, București 1988.
- /2.11/. E. Dodon, Despre sensibilitatea comenzii adaptive la mașinile de danturat cu freză melc cilindrică. Vol a V-a sesiune de comunicări tehnico-științifice, IM Cugir -1984.
I. Köles
- [2.12]. M. Bodea Aparate electronice pentru măsurare și control- Ed. didactică și pedagogică, București 1985.
ș.a.
- /2.13/. I. Köles Realizarea prin blocuri electronice a funcțiilor de comandă ale mașinilor-unelte. Referat de doctorat - Timișoara - 1988
- [2.14]. E. Nicolau Manualul inginerului electronist - Măsurări electronice - Ed. Tehnică- București 1979.
ș.a.
- [2.15]. C. Picoș Normarea tehnică pentru prelucrări prin aşchiere - vol.2, Ed. tehnică, București-1982.
ș.a.

- [2.16]. *I. Micșa ș.a.* Tehnologia construcției de mașini. Îndrumător de proiectare. Litografia IPT-1988.
- [2.17]. *I. Pop* Așchiere și scule așchietoare. Curs Litografia IPT - 1988
- [2.18]. *** Mașina de frezat roți dințate prin rostogolire FD 250, FD 400. Instrucțiuni de deservire.

Cap. 3

- [3.1]. *G. Ionescu ș.a.* Traductoare pentru automatizări industriale, vol. I, Ed. tehnică, București 1985.
- [3.2]. *H.F. Grave* Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice, Ed. tehnică, București 1966.
- [3.3]. *M. Bodea* Traductoare integrate. Sesiunea de comunicări științifice a RSR-iulie 1984.
- [3.4]. *F. Grosu* Comanda adaptivă a avansului la mașini de găurit- Teză de doctora - Timișoara 1986. Conducător științific Prof. dr. ing. E. Dodon.
- /3.5/. *E. Dodon și colectiv* Traductoare și blocuri de prelucrare a semnalului pentru mașini din celule flexibile - Contract de cercetare nr. 107/1987 cu I. Infrățirea Oradea.
- [3.6]. *E. Dodon* Asupra utilizării traductoarelor magnetoelastice în automatizarea mașinilor-unelte- Acad. RPR, Baza Timișoara. Studii și cercetări științifice, tehnice- vol. V- 1958.
- [3.7]. *E. Dodon* Asupra reglării automate a regimului de așchiere la strunguri. Dizertație pentru obținerea titlului științific de candidat în științe tehnice. Inst. Pol. București 1960.
- [3.8]. *E. Dodon, D. Buzulică* Sensibilitatea relativă a traductoarelor magnetoelastice la diferite frecvențe - Edit. Academiei RSR. Probleme de automatizare. Sesiunea oct-67- București 1969.
- /3.9/. *E. Dodon și colectivul* Realizarea unei mașini de superfinisat piese pentru motoare Diesel. Contr. de cerc. nr. 83/1991 cu I.C.M. Reșița.
- /3.10/. *E. Dodon și col.* Realizarea comenzii adaptive a vitezei la mașini de danturat cu freză-melc. Contract de cercetare nr 26/1983 cu I.M. Cugir
- /3.11/. *E. Dodon și col.* Cercetarea și proiectarea unui grup de putere hidraulic multifuncțional prevăzut cu cap de înșurubare și alte unelte necesare la montajul LEA. Contract de cercetare nr. 93/1988 cu TAGEM "Elec-

- tromontaj" Sibiu.
- [3.12]. *M. Ciugudean*
ș.a. Circuite integrate liniare. Aplicații Ed. Facla, Timișoara - 1986.
- /3.13/. *E. Dodon*
și col. Realizarea de traductoare și blocuri de prelucrare a semnalului sculei la mașini pentru echipament nuclear. Contract de cercetare nr. 87/1988 cu IMU Bacău.
- /3.14/. *I. Köles* Considerații privind utilizarea punților neechilibrate la măsurarea automată a forțelor și momentelor. În *Lucrările ICATE 91*. Craiova 1991.
- [3.15]. *** Microcomparatorul electronic N- 2201. Manual de utilizare - IEMI București.
- [3.16]. *** Tensometru electronic N-2901. Manual de utilizare - IEMI București.
- [3.17]. *M. Ciugudean* Dispozitive și circuite electronice. *Curs Litografia IPT - Timișoara 1982*.
- /3.18/. *I. Köles* Prelucrarea electronică a semnalului la protecția automată a sculelor pe mașini-unelte. A 8-a Conferință națională de mașini-unelte, București 15 noiembrie 1991
- [3.19]. *A. Cornut* Metodă magnetoelastică pentru determinarea eforturilor în bare din oțel - Teză de doctorat, 1971. *Cond.Șt. Acad. Ștefan Nădășan*
- /3.20/. *I. Köles* Automatic compensator for measurement in adaptive control systems ICATE 1991 - Craiova
- /3.21/. *I. Köles* Consideration regarding the equipment of unbalanced bridges in the automatic compensator for measurement of forces and torques ICATE 1991 - Craiova

Cap. 4

- [4.1]. *** I.M. Plopeni - Prospecte
- [4.2]. *** Rexroth-Mannesmann - The Hydraulic Trainer - Volume 1
- [4.3]. *** Rexroth-Mannesmann - The Hydraulic Trainer - Volume 2
- [4.4]. *I. Ardelean*
ș.a. Circuite integrate MOS- manual de utilizare. Editura tehnică. București 1986.
- [4.5]. *** Microelectronica - Data Book- MOS Integrated Circuits - București 1989
- /4.6/. *I. Köles* Elemente de execuție ale sistemelor de comandă și dispozitivelor din compunerea mașinilor-unelte - Referat de doctorat - Timișoara - 1987.
- /4.7/. *E. Dodon,*
I. Köles, ș.a. Servosupapă-releu pentru mașini-unelte Sesiunea de comunicări științifice a Inst.

- [4.8]. *W. Backe* Politehnic București, 1986
 Servohidraulică, prelegere. Aachen
- [4.9]. *O.Föllinger* Tehnica de reglare. AEG-Telefunken AG, Berlin
- [4.10]. *G. Harms* Amplificatoare liniare, Vogel-Verlag, Würzburg
- [4.11]. *G. Bauer* Hidraulica uleiurilor. Teubner Studienskripten, Stuttgart
- [4.12]. *K. Flieger* Tehnica de reglare, Fundamentări și aparate. Hartmann u. Braun, Frankfurt
- [4.13]. *** *Samson* Informații despre tehnica de reglare, Samson Apparatebau AG, Frankfurt
- [4.14]. *** *Mann / Schiffelgen* Introducere în tehnica de reglare, Carl Hanser Verlag, München
- [4.15]. *** Mijloace de tehnică digitală, Fa Frabe, Köln
- [4.16]. *** Sisteme de măsurare a lungimilor, traductor-unghiular, Dr. Johannes Fa. Heidenhain, Trauenreut
- [4.17]. *** *Panzer-Beitler* Manual de lucru în hidraulica uleiurilor. Proiectare și funcționare, Krausskopf-Verlag, Mainz

Cap.5

- [5.1]. *E. Orszary* Comanda adaptivă și reinstalarea automată a sculelor la mașini de cojit bare. Teză de doctorat - Timișoara - 1977. Conducător științific Prof. dr. ing. E. Dodon.
- [5.2]. *D. Cârlan* Comanda adaptivă a vitezei la mașina de cojit bare. Teză de doctorat - Timișoara - 1988. Cond. științific prof. dr. ing. E. Dodon.
- [5.3]. *E. Dodon, E. Orszary* Ridicarea preciziei la cojire prin reinstalare automată la cotă. In Comunicările celei de-a II-a Conferințe PUPR - Timișoara 1978.
- [5.4]. *U. Spineanu* Automatizarea controlului dimensiunilor în construcția de mașini - Ed. tehnică, București - 1987.
- [5.5]. *M. Vătafu* Compensarea automată a erorilor de prelucrare pe baza comenzii adaptive - Teză de doctorat - Timișoara - 1991.
- [5.6]. *D. Cârlan* Considerații despre uzura cuțitelor speciale de cojit. Conferința PUPR - Timișoara - 1986.
- [5.7]. *D. Cârlan* Durabilitatea sculelor la cojirea barelor. Conferința P.U.P.R.- Timișoara - 1986.

- /5.8/. I. Köles Realizarea prin blocuri electronice a funcțiilor de comandă ale mașinilor-unelte. Referat de doctorat - Timișoara-1988.
- [5.9]. G. Urdea și a. Modernizarea unei mașini de rectificat rotund exterior între vârfuri în vederea funcționării ei într-o celulă de fabricație robotizată. In lucrările celui deal IV-lea simpozion" Robotizarea industriei" - vol IV - Timișoara 1984.
- [5.10]. M. Bodea și a. Diode și tiristoare de putere. Vol II. Aplicații. Ed. tehnică- București 1990.
- [5.11]. M. Bodea și a. Circuite integrate liniare- Manual de utilizare. Vol. IV. Ed. tehnică - București - 1985.
- [5.12]. *** Microelectronica Data Book- MOS and Optoelectronic Devices - București - 1985.
- [5.13]. I. Ardelean și a. Circuite integrate MOS. Manual de utilizare. Ed. Tehnică - București - 1986.
- [5.14]. M. Ciugudean Transformatoare de impuls. Documentație de execuție.
- [5.15]. *** Calow-Bielefeld Schälmaschinen -
- [5.16]. *** Hohleistung - schälmaschinen
Kisserling
Albrecht/Solingen
- [5.17]. *** Hartmetallwerkzeuge
Plansee Tizit
- [5.18]. *** Scule de strunjit Coromat
Sandvic/Coromat/
Sandviken
- [5.19]. *** Morton Mașini de cojit
- [5.20]. Gh. Târpe Precizia prelucrării prin așchiere. Ed. tehnică. București, 1972
- [5.21]. *** Ugine Outillages de coupe
Carbone
- Bibliografie generală
- [1]. E. Dodon și a. Mașini unelte și agregate, Ed. tehnică București, 1975, .
- [2]. E. Nicolau și a. Manualul inginerului electronist -Măsurări electronice, Ed tehnică, București, 1979
- [3]. L. Manolescu și a. Măsurări electrice și electronice, Ed. didactică și pedagogică, București
- [4]. M. Ciugudean și a. Proiectarea unor circuite electronice, Ed. Facla, Timișoara, 1983

- [5]. M. Ciugudean
ș.a. Circuite integrate liniare. Aplicații,
Ed. Facla, Timișoara, 1986
- /6/. I. Köles Cerințele și specificul mașinilor unelte
cu conducere automată a încărcării din
cadrul celulelor flexibile. Referat de
doctorat -Timișoara, 1988.
- /7/. I.Köles Elemente de execuție ale sistemelor de
comandă și a dispozitivelor din compu-
nerea mașinilor-unelte, Referat de doc-
torat. Timișoara - 1987.
- /8/. I. Köles Prelucrarea electronică a semnalului la
protecția automată a sculelor pe mașini-
unelte. În Conferința Națională de Mașini
Unelte. București - 1991.
- /9/. I. Köles Realizarea prin blocuri electronice a
funcțiilor de comandă ale mașinilor-
unelte. Referat de doctorat. Timișoara -
1988.
- [10]. M. Bodea
ș.a. Circuite integrate liniare. Manual de
utilizare, vol.I. Ed. Tehnică, București,
1979.
- [11]. M. Bodea
ș.a. Circuite integrate liniare. Manual de
utilizare, vol II. Ed Tehnică, 1980
- [12]. Bodea ș.a. Circuite integrate liniare - Manual de
utilizare - vol.III. Ed Tehnică, Bucu-
rești - 1984.
- [13]. M. Bodea
ș.a. Circuite integrate liniare - Manual de
utilizare - vol.IV. Ed Tehnică, Bucu-
rești - 1985.
- [14]. R. Râpeanu
ș.a. Catalog, Ed Tehnică, București 1983
- [15]. *** Diode- Catalog IPRS, București 1986
- [16]. *** MOS Integrated circuits - Data book - Mi-
croelectronica - București - First Edi-
tion
- [17]. N. Băilă Comanda adaptivă a turației la mașini de
frezat orizontal cu consolă - teză de
doctorat - Timișoara - 1978.
- [18]. V.E. Orszary Comanda adaptivă și reinstalarea auto-
mată a sculelor la mașini de cojit bare -
teză de doctorat - Timișoara 1977.
- [19]. G. Urdea Comanda adaptivă la mașini de rectificat
rotund exterior între vârfuri. Teză de
doctorat - Timișoara - 1978.
- [20]. D. Cărlan Comanda adaptivă a vitezei la mașina de
cojit bare. Teză de doctorat - Timișoara
1989.
- /21/. E. Dodon și
col. Contract de cercetare cu IM Cugir
- [22]. F. Grosu Comanda adaptivă a avansului la mașini de

- găurit - Teză de doctorat - Timișoara - 1985.
- /23/. E. Dodon și col. Mașină de superfinisat cu comandă adaptivă. Contract de cercetare cu ICM Reșița 1991.
- /24/. E. Dodon și col. Contract de cercetare cu Electromontaj București - 1987.
- /25/. E. Dodon și col. Contrate de cercetare cu I. "Înfrățirea" Oradea.
- [26]. E. Dodon Asupra utilizării traductoarelor magnetoelastice în automatizarea mașinilor-unelte. Acad. RPR, Baza Timișoara. Studii și cercetări științifice și tehnice - vol. V. 1958.
- [27]. E. Dodon Asupra reglării automate a regimului de așchiere la strunguri. Dizertație pentru obținerea titlului științific de candidat în științe tehnice. Inst. Politehnic București 1960.
- [28]. E. Dodon, D. Buzulică Sensibilitatea relativă a traductoarelor magneotoelectrice la diferite frecvențe. Edit. Academiei RSR. Probleme de automatizare. Sesiunea oct. București 1969.
- [29]. E. Dodon, E. Orszary Ridicarea preciziei la cojire prin re-instalare automată la cotă. Comunicările celei de-a II-a Conferințe PUPR. Timișoara - 1978.
- /30/. E. Dodon, I. Köles Despre sensibilitatea comenzii adaptive la mașinile de danturat cu freză melc-cilindrică. Vol. a V-a sesiune de comunicări tehnico-științifice, IM Cugir - 1984.
- /31/. E. Dodon, I. Köles ș.a. Supapă releu pentru sisteme automate - Vol. A V-a Conferință de comunicări de mașini unelte, București 1984.
- [32]. E. Nicolau, M. Beliş Măsurări electrice și electronice Ed. Didactică și pedagogică București - 1984.
- [33]. A. Rusu (coordonator) ICCE Circuite integrate liniare. Catalog București 1986.
- [34]. A. Rusu (coordonator) ICCE Circuite integrate liniare. Catalog București 1987.
- [35]. A. Manolescu ș.a. Circuite integrate liniare, Ed. didactică și pedagogică - București.
- [36]. Gh. Cartianu ș.a. Semnale, circuite, sisteme. Ed. didactică și pedagogică, București - 1980.
- [37]. Ad. Mateescu ș.a. Semnale și circuite de telecomunicații. Editura didactică și pedagogică, București.
- [38]. A. Kelemen, M. Imecs Electronică de putere. Ed. didactică și pedagogică - București 1983.

- [39]. A. Kelemen Acționări electrice. Ed. didactică și pedagogică - București.
- [40]. Thomas R. Blakeslee Proiectarea cu circuite logice MSI și LSI standard. Ed. tehnică, București - 1988.
- [41]. I. Sztojanov ș.a. De la poarta TTL la microprocesor. Ed. Tehnică, București - 1987.
- [42]. M. Badea ș.a. Diode și tiristoare de putere. vol. II. Aplicații. Ed. Tehnică București - 1990.
- [43]. G. Primejdie (coord.) Diode și tiristoare - IPRS Băneasa, București 1987.
- [44]. Gh. Sadaclieo (coord.) Circuite integrate logice - IPRS Băneasa-catalog - București 1978-1979.
- [45]. I. Ardelean, M. Giuroiu Circuite integrate MOS - Manual de utilizare, Ed. tehnică - București 1986.
- [46]. R.L. Morris, J.R. Miller Proiectarea cu circuite integrate TTL. Editura Tehnică - București 1974.
- [47]. Gh. M. Ștefan ș.a. Circuite integrate digitale. Editura didactică și pedagogică, București - 1983.
- [48]. I. Mitrofan Generatoare de impulsuri și de tensiune liniar variabilă. Ed. Tehnică, București - 1980.
- [49]. *** Microelectronica Data Book - Mos an Optoelectronic Devices. București - 1985.
- [50]. D. Crăcea (coord.) Circuite integrate liniare - IPRS Băneasa București 1988.
- [51]. *** Nonlinear circuits handbook - Analog Devices Inc. Norwood - 1976.
- [52]. M. Badea, ș.a. Aparate electronice pentru măsurare și control. Ed. didactică și pedagogică - București 1985.
- [53]. E. Pop ș.a. Tehnici moderne de măsurare, Ed. Facla, Timișoara 1983.
- [54]. H.F. Grave Măsurarea electrică a mărimilor neelectrice. Ed. Tehnică, București - 1966.
- [55]. G. Ionescu ș.a. Traductoare pentru automatizări industriale. vol. I, Ed. Tehnică, București - 1985.
- [56]. T. Penescu, V. Petrescu Măsurarea presiunii în tehnică. Ed. Tehnică, București - 1968.
- [57]. M. Bodea Traductoare integrate în: Sesiunea de comunicări științifice a RSR - iulie 1984.
- [58]. ***- MOS Integrated circuits - Data Book - Microelectronica - Second edition, București - 1989.
- [59]. E. Dodon, Gh. Bastiurea /60/. E. Dodon și colectiv Comanda numerică a mașinilor-unelte. Ed. Tehnică, București 19.
- [61]. O. Gligor Contract de cercetare nr.15/1988 cu Electromotor Timișoara.
- Contribuții la dimensionarea și funcționarea cuplajelor electromagnetice cu

- fricțiune în sistemele de acționări electrice. Teză de doctorat - 1978.
- [62]. *I. Lungu* Studiul conducerii automate a regimurilor de lucru la superfinisare. Teză de doctorat, Timișoara 1976.
- [63]. *E. Dodon ș.a* Mașini-unelte și agregate. Ed. didactică și pedagogică - București 1978.
- [64]. *I. Ardelean, L. Petrescu* Circuite integrate MOS. Manual de utilizare. Ed. Tehnică, București - 1986.
- [65]. *M. Ciugudean, I. Köles* Contribuții la studiul și calculul amplificatorului operațional cu caracteristică de transfer cu pantă monoton variabilă. În Buletinul științific și tehnic al IPTV Timișoara - Seria Electrotehnică. Tom 27, Fascicula 1- 1982.
- [66]. *U. Spineanu* Automatizarea controlului dimensiunilor în construcția de mașini. Ed. Tehnică, București - 1987.
- [67]. *** Circuite integrate digitale - Catalog editat de Centrul de cercetări științifice pentru semiconductoare- București. Echipament pentru încercarea și etalonnarea sistemelor de protecție a sculei la mașini de găurit. Lucrările Conferinței Naționale de mașini- unelte. București 1991.
- /68/. *P. Suru, I. Köles ș.a.* Circuite electronice în tehnologia hibridă. Aplicații. Ed. Facla - Timișoara 1987.
- [70]. *** Data acquisition components and subsystems. Analog Devices, Norwood, Massachusetts - 1980.
- [71]. *** Prospecte de la Office National d'Etudes et de recherches Aérospatiales (ONERA), Frankreich -1982.
- [72]. *M. Chatanior, Y. Le. Bot* Utilisation des capteurs pelliculaires pour la mesure des pressions instantanées dans les turbomachines, IUTAM Symposium, Paris - 1976.
- [73]. *N. Sprînceană ș.a.* Automatizări discrete în industrie. Culegere de probleme. Editura Tehnică București - 1978.
- [74]. *M. Vătafu* Compensarea automată a erorilor de prelucrare pe baza comenzii adaptive. Teză de doctorat. Timișoara - 1991.
- /75/. *I. Köles* Metodă pentru măsurarea automată a puterii în așchiere. A method of automatic power measurement in cutting. ICATE-1991 Craiova.
- /76/. *I. Köles* Compensator automat pentru măsurări în

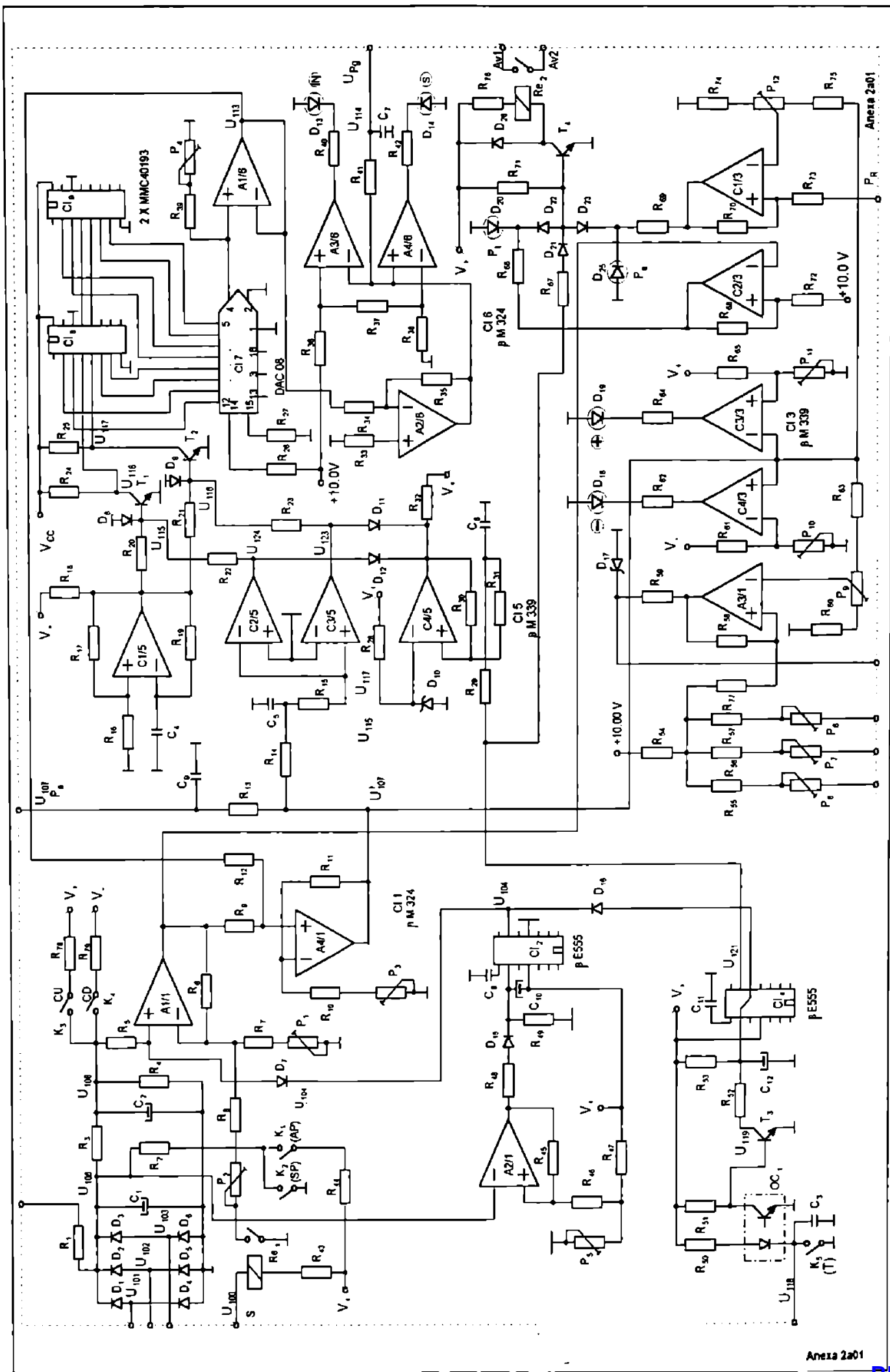
- sistemele de comandă adaptivă. ICATE-1991 Craiova.
- /77/. I. Köles Considerații privind utilizarea punților neechilibrate la măsurarea automată a forțelor și momentelor. ICATE-1991 Craiova.
- [78]. C. Vonica Stabilirea automată a încărcării la comanda adaptivă a strungurilor. Teză de doctorat. Timișoara 1976.
- [79]. *** Circuite integrate liniare - catalog IPRS Băneasa, București - 1988.
- /80/. E. Dodon și colectiv Contract cu IMU Bacău.
- /81/. E. Dodon și colectivul Contract cu I. Infrățirea Oradea.
- [82].*** Microcomparatorul electronic N- 2201. Manual de utilizare - IEMI București.
- [83].*** Tensiometru electronic. Manual de utilizare - IEMI București - 1986.
- [84]. Th. Dănilă și a. Dispozitiv și circuite electronice. Ed. didactică și pedagogică - București.
- [85]. M. Ciugudean Dispozitive și circuite electronice. Curs Litografia IPT, Timișoara - 1982.
- [86]. N. Buliga Regimurile de așchiere. Precizia și determinarea încărcărilor la danturarea cu freză melc. Referat de doctorat, Timișoara - 1975. Conducător științific Prof. dr. ing E. Dodon.
- [87]. M. Ciugudean Electronică aplicată cu circuite integrate. Dimensionare. Editura de Vest, Timișoara - 1991.
- [88]. *** Tiristoare și module de putere- Catalog Ed. Tehnică, București - 1984.
- [89]. *** Sensors and Instrumentation News, Vol II, Number 8, 1988 Sept.
- [90]. K. Fock Measurement for the 21 st century
- /91/. I. Köles Realizarea prin blocuri electronice a funcțiilor de comandă ale mașinilor-unelte. Referat de doctorat, Timișoara - 1988.

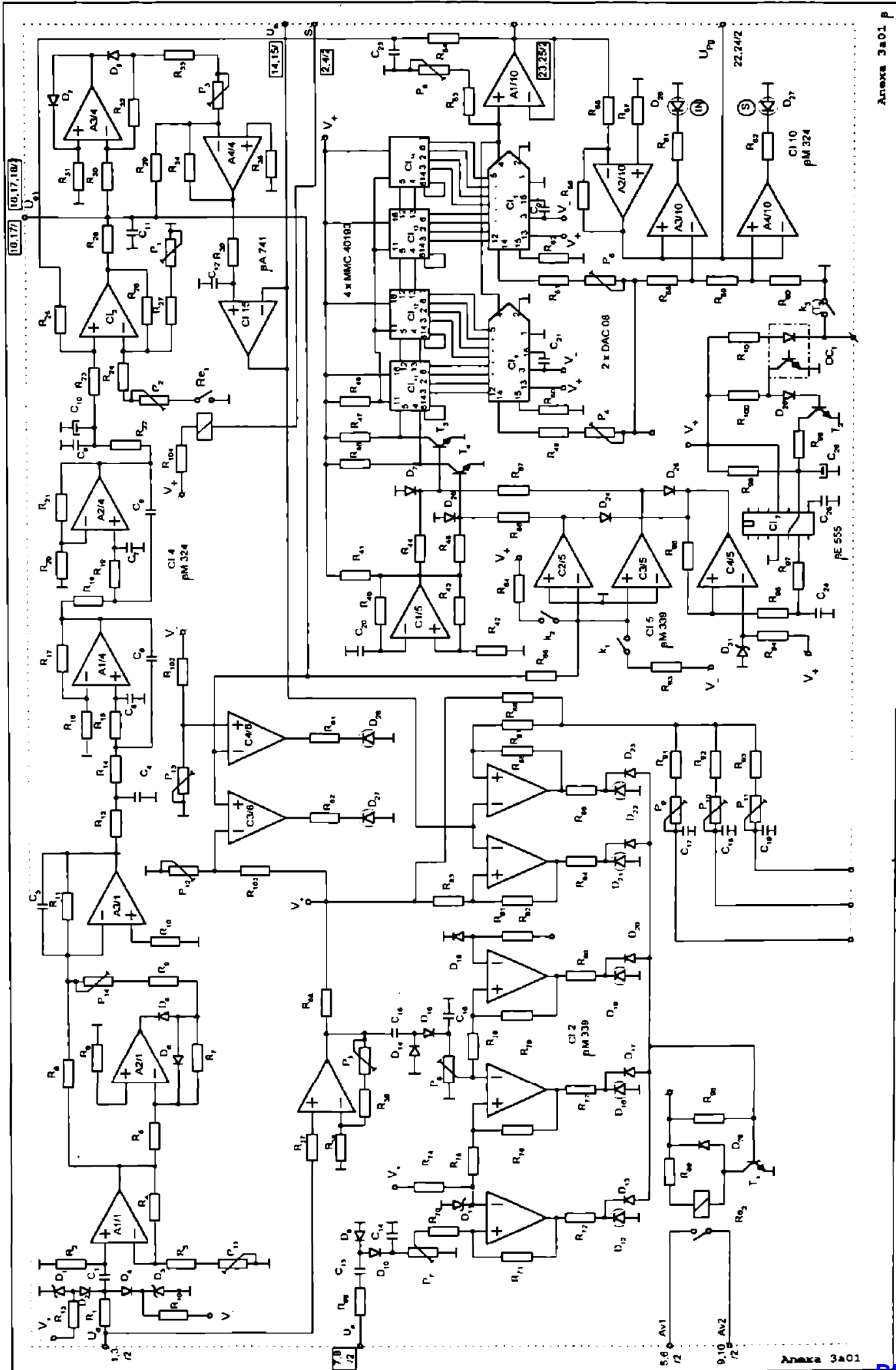
Cuprins

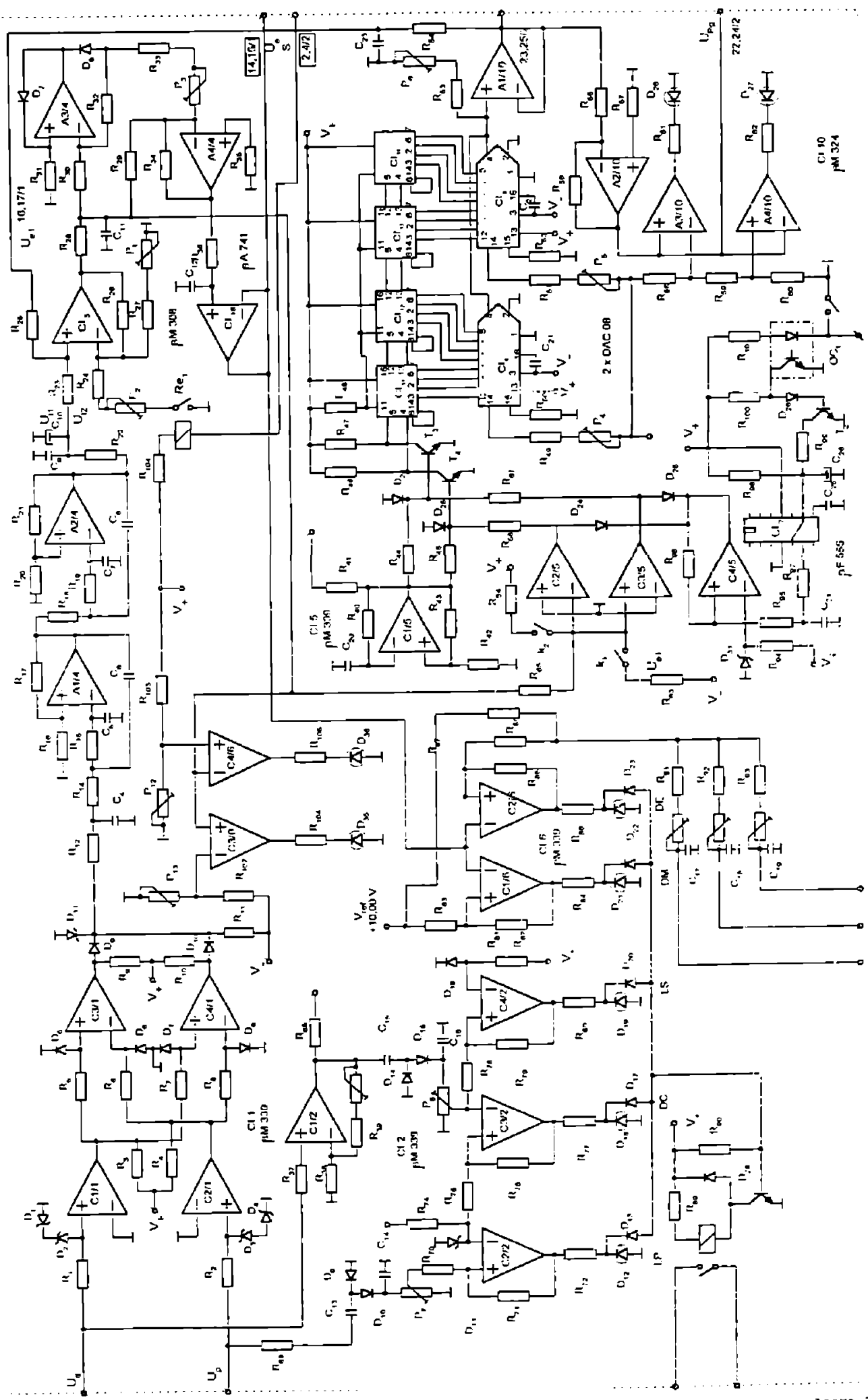
Cap.1	Introducere	1
Cap.2	Măsurarea puterilor pentru comanda adaptivă	5
2.1	Introducere	5
2.2	Stadiul actual al măsurării puterilor în acționările mașinilor-unelte cu comandă adaptivă	5
2.3	Modul pentru măsurarea și calculul puterii electrice consumate în așchiere	9
2.3.1	Elaborarea structurii modulului pentru măsurarea și calculul puterii electrice consumate în așchiere	9
a	Cerințe impuse modulului	10
2.3.2	Realizarea practică a modulului pentru măsurarea și calculul puterii electrice consumate în așchiere	13
a	Circuitul redresor amplificator	13
a1	Filtrul pasiv	14
a2	Amplificatorul neinversor	20
a3	Amplificatorul sumator	20
b	Circuitul pentru suprimarea regimului tranzitoriu	21
c	Circuitul de semnalizare și avarie	23
d	Compensatorul automat	25
d1	Generatorul de tact	29
d2	Temporizatorul	31
d3	Comparatoarele	33
d4	Numărătorul binar sincron reversibil	34
d5	Convertorul numeric analogic	34
2.3.3	Testarea modulului	36
2.4	Contribuții originale și concluzii parțiale	37
Cap.3	Măsurarea forțelor și momentelor în condițiile comenzii adaptive	39
3.1	Stadiul actual al măsurării industriale a forțelor și momentelor la mașini-unelte	39
3.2	Caracteristici electrice ale senzorilor (trductoarelor) magnetoelastici	44
3.3	Modalități de prelucrare a semnalului din puntea senzorului magnetoelastic	49
3.4	Modul pentru prelucrarea semnalului de la senzori cu trductoare inductive	53
3.4.1	Elaborarea structurii modulului	53
3.4.2	Etajul detector	55
a	Detectorul de anvelopă	55
b	Detectorul sensibil la fază	56
3.4.3	Filtrul trece jos	59
3.4.4	Amplificatorul și redresorul de precizie	65
3.4.5	Compensatorul automat	67
3.4.6	Circuitul de semnalizare și avarie	74

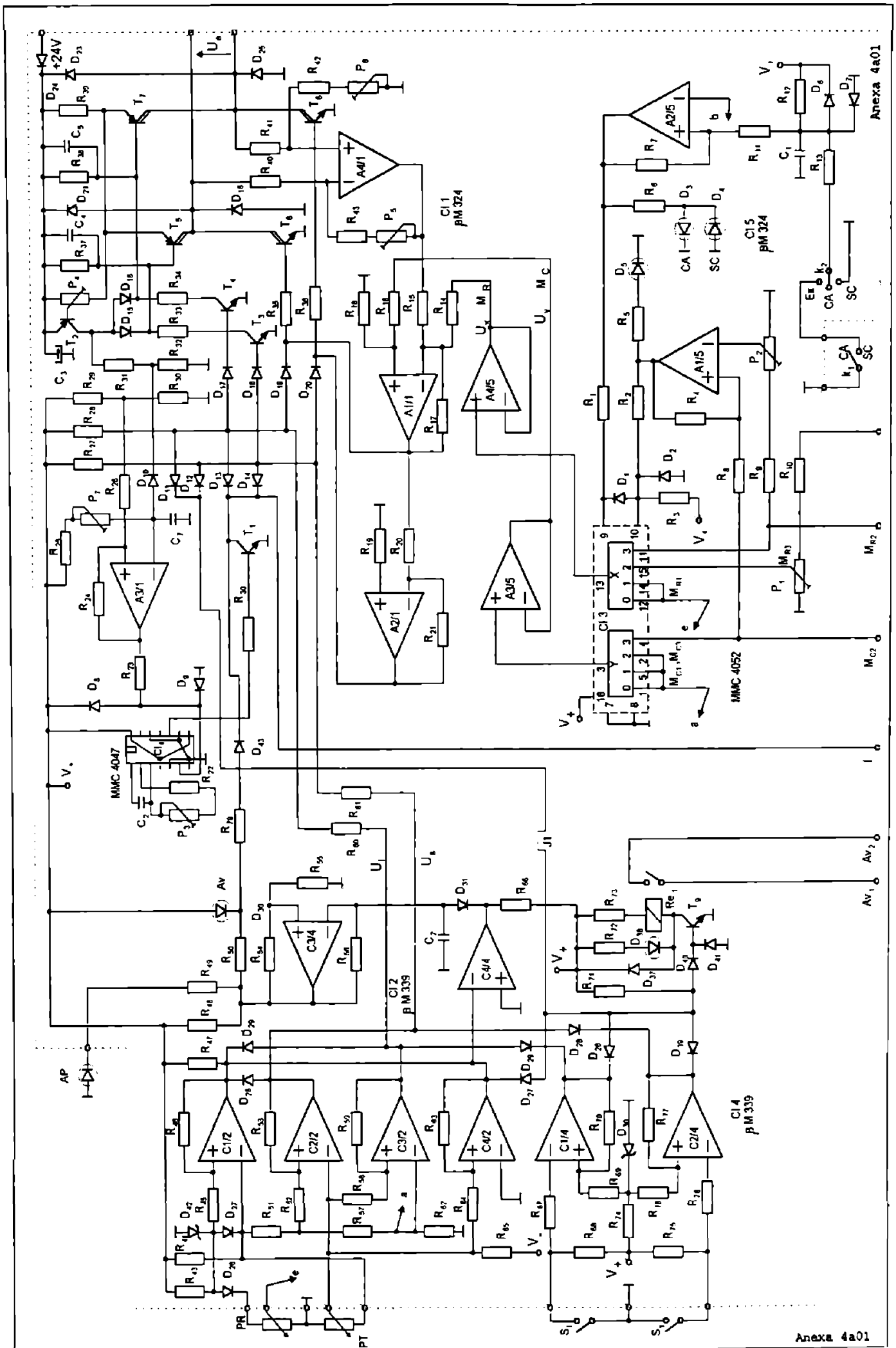
3.5	Testarea modulului	76
3.6	Contribuții originale și concluzii parțiale	76
Cap.4	Module electronice speciale pentru comanda servocomponentelor din comenzile adaptive	78
4.1	Considerații inițiale	78
4.2	Stadiul actual în construcția și automatizarea servocomponentelor	78
4.2.1	Servosupape	78
a	Servosupape cu duză paletă	79
b	Servosupape cu bobină mobilă și ac	83
c	Servosupape cu motoare rotative utilizate în comanda adaptivă	88
c1	Cerințe specifice pentru servosupape cu motoare rotative utilizate în comanda adaptivă	88
c2	Servosupapă - releu	88
4.2.2	Servopompe și servohidromotoare reglabile	91
a	Cerințe impuse servopompelor și servohidromotoarelor reglabile pentru comanda adaptivă	91
b	Pompă reglabilă pentru utilizări în comanda adaptivă a mașinilor-unelte	92
4.3	Modul electronic pentru comanda servosupapei cu bobină mobilă și ac	95
4.3.1	Circuitul pentru alegerea mărimilor	95
4.3.2	Amplificatorul sumator de putere	96
4.4	Modul electronic pentru comanda servopompei reglabile și a servosupapei - releu	100
4.4.1	Cerințe impuse și adoptarea schema bloc a modulului	100
4.4.2	Circuitul pentru alegerea mărimilor	102
4.4.3	Amplificatorul de putere diferențial	104
4.4.4	Circuitul de protecție și semnalizare	116
4.5	Contribuții originale și concluzii parțiale	119
Cap.5	Reinstalarea automată a sculelor la cotă	121
5.1	Stadiul actual al sistemelor de reinstalare automată la cotă	121
5.1.1	Sistem de reinstalare automată la cotă pe baza calculelor și informațiilor preluate din comanda adaptivă	122
5.1.2	Sistem de reinstalare automată la cotă cu acționare magnetostrictivă	123
5.1.3	Sistem de reinstalare automată la cotă cu hidromotor	124
5.1.4	Sistem de reinstalare automată la cotă cu motor pas cu pas	125
5.1.5	Sistem de reinstalare automată la cotă cu lanț cinematic	126
5.1.6	Sistem de reinstalare automată la cotă cu inerție mare	127
5.2	Modul electronic pentru comanda reinstalării automate la cota	127

5.2.1	Considerații tehnologice	127
5.2.2	Elaborarea structurii modulului pentru re- instalare automată la cotă	129
5.2.3	Demodulatorul de măsură	134
5.2.4	Circuitul de urmărire și memorare	137
5.2.5	Generatorul impulsurilor de comandă	146
5.2.6	Circuitul pentru comanda memorării și urmă- ririi	148
5.2.7	Generatorul de tact	152
5.2.8	Circuitul de putere	152
5.3	<i>Concluzii parțiale și contribuții originale</i>	154
Cap.6	Concluzii	156
Cap.7	Bibliografie	160
	Cuprins	170
	Anexe	173









Anexa 4a01

