

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI
INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VOIA"
TIMISOARA

Ing. GHEORGHE DIMITRU GLITA CATINA

T E R A D E D O C T O R A T

CERCETARI CU PRIVIRE LA OPTIMIZAREA ECHIPAMENTELOR
DE SUDARE PRIN PRESIUNE CU ENERGIE IMMAGASINATA IN
CIMP ELECTROSTATIC

CONDUCATOR STIINTIFIC

Prof.dr.doc.gt.ing. VLADIMIR POPOVICI

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

- 1987 -

INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA	
BIBLIOTECA	
522.667	
TIMIȘOARA	
Volum	359 4
Data	1987

	Pag.
INTRODUCERE	1
CAPITOLUL 1. ENERGIA INMAGAZINATA IN CIMP ELECTROSTATIC UTILIZATA IN PROCESELE DE SUDARE PRIN PRESIUNE.	6
1.1. Sudarea prin presiune în puncte.....	7
1.2. Sudarea prin presiune cap la cap.....	9
1.3. Sudarea prin presiune în linie.....	10
1.4. Mașini pentru sudarea prin presiune cu energie înmagazinată în condensatoare.....	11
CAPITOLUL 2. OPTIMIZAREA PROCESULUI DE ÎNCĂRCARE-DESCĂRCARE A CONDENSATOARELOR PRIN TRANSFORMATORUL DE SUDARE.....	17
2.1. Optimizarea procesului de încărcare al condensatoarelor.....	17
2.1.1. Scheme de încărcare monofazate.....	21
2.1.2. Scheme de încărcare trifazate.....	22
2.1.3. Scheme monofazate-semicomandate....	23
2.2. Optimizarea procesului de descărcare al condensatoarelor.....	30
2.2.1. Procesul de descărcare al bate- riilor de condensatoare în cazul circuitelor reale.....	31
2.2.2. Influența schemei de descărcare asupra formei curentului de sudare.	35
CAPITOLUL 3. MODEL EXPERIMENTAL PENTRU SUDAREA PRIN PRESIUN- NE IN PUNCTE CU ENERGIE INMAGAZINATA IN CONDENSATOARE.....	39
3.1. Studiul schemei bloc a modelului experimental.....	39
3.2. Concepția transformatorului de sudare pentru mașinile cu condensatoare.....	52
3.2.1. Particularități constructive și funcționale.....	52
3.2.2. Bazele teoretice privind optima- rea construcției transformatoarelor de sudare.....	52

3.3.	Determinarea circuitului exterior de la modelul MSC-2700	67
3.3.1.	Optimizarea formei circuitului exterior.....	68
3.3.2.	Determinarea impedanței circuitu- lui exterior.....	73
3.4.	Date constructive ale transformatorului de sudare.....	73
3.5.	Schema de reglare a raportului de trans- formare în variantă optimizată.....	75
3.6.	Schema electrică și de acționare a modelului MSC-2700.....	77
3.7.	Norme de tehnică securității muncii.....	89
3.8.	Caracteristicile tehnice ale modelului MSC-270.....	89
CAPITOLUL 4.	CALCULUL SI MODELAREA CURENTULUI DE SUDARE....	91
4.1.	Influența parametrilor circuitului exterior asupra curentului de sudare.....	91
4.2.	Calculul curentului de sudare.....	95
4.2.1.	Determinarea caracterului procesu- lui de descărcare al condensatoa- relor.....	97
4.2.2.	Determinarea curentului de sudare.....	100
4.3.	Modelarea curentului de sudare.....	104
4.4.	Scheme și montaje pentru oscilografie- rea curentului de sudare:.....	105
CAPITOLUL 5.	CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA SUDARII PRIN PRESIUNE IN PUNTE.....	113
5.1.	Cercetări experimentale privind sudarea aluminului.....	113
5.1.1.	Epruvete pentru sudare.....	114
5.1.2.	Determinarea regimurilor optime la sudarea aluminului pe mode- lul MSC-2700.....	117
5.2.	Cercetări experimentale privind sudarea cuprului.....	119
5.3.	Cercetări experimentale privind sudarea metalelor și aliajelor diferite.....	120

	Pag.
5.4. Analiza metalografică a îmbinărilor sudate.....	122
5.4.1. Analiza distribuției și variației elementelor din îmbinarea sudată: Cu Zn 39 Pb 2 + Cu	124
5.4.2. Analiza distribuției și variației elementelor din îmbinarea sudată: Cu + Al.....	126
5.4.3. Analiza distribuției și variației elementelor din îmbinarea sudată: CL37 + inox.....	128
5.5. Concluzii privind optimizarea sudării pe modelul MSC-2700.	130
5.6. Determinarea corelației și a regresiei multiple dintre ζ_p , σ , C și U.....	131
CAPITOLUL 6. CONSIDERAȚII FINALE ȘI CONTRIBUȚII ORIGINALE.	135
6.1. Considerații finale.....	135
6.2. Contribuții originale.....	139
NOTAȚII ȘI PRESCURTĂRI FOLOSITE ÎN TEXT.....	141
BIBLIOGRAFIE.....	143

INTRODUCERE

Ritmul rapid de industrializare al țării noastre și creșterea însemnată a producției de metale și aliaje neferoase, respectiv a oțelurilor aliate, conduce implicit la dezvoltarea, sau apariția unor noi materiale și tehnologii de sudare. Pentru aplicarea în practică a acestor tehnologii, este necesar să se dezvolte corespunzător și echipamentele ce le deserveșc, echipamentele ce trebuie să satisfacă anumite cerințe privind: calitatea îmbinării sudate, (garantarea unor caracteristici mecanice și de rezistență), productivitatea procedeului, fiabilitatea produselor realizate care cuprind asemenea îmbinări, mecanizarea, automatizarea și/sau chiar robotizarea proceselor de sudare.

Realizarea unor echipamente, instalații, sau mașini pentru sudare, cu calități superioare, constituie o preocupare majoră a specialiștilor și cercetătorilor din toate institutele specializate din țara noastră și corespunde politicii consecvente a P.C.R. de ridicare a nivelului tehnic și a calității întregii activități industriale, respectiv a reducerii la minim a importului /1,2,3,4/. În acest context s-au făcut eforturi deosebite pentru conceperea și fabricarea de către industria noastră a unor echipamente și dispozitive pentru sudare, privind mai ales, extinderea și mecanizarea procedeelor cu o largă aplicabilitate în industrie /14,17, 45,77,78,79,80,82,84,88,93,94,100,101,126,127/.

Dintre metalele a căror domeniu de utilizare este în continuă creștere se menționează: aluminiul, cuprul, nichelul și în special aliajele acestora, precum și oțelurile inoxidabile. Dar cel mai reprezentativ dintre acestea este aluminiul și aliajele lui, a cărui arie de utilizare s-a extins enorm în ultimii ani, aproape în toate domeniile de activitate, printre care se menționează: industria constructoare de mașini, industria electrotehnică și energetică, electronică și microelectronică, industria aerospațială, industria bunurilor de consum, în cibernetică și telecomunicații.

Extinderea în continuare a domeniilor de utilizare a aluminiului și a aliajelor sale, este însă legată de tehnologiile de

prelucrare și în mod cu totul aparte de tehnologiile de sudare acestuia. De asemeni, se urmărește ca prin sudare să fie influențat foarte puțin metalul din zonele vecine îmbinării, iar procedeele și tehnologia de sudare să aibă un consum redus de energie. Astfel, dacă la început aluminiul și aliajele sale au fost sudate prin procedeul cu arc electric cu electrozi înveliți, în ultimii ani s-au dezvoltat și extins procedeele de sudare WIG și MIG în mediu de gaz inert. Cu toate acestea, sînt însă domenii ale industriei electronice și microelectronice, optică sau chiar aerospațială, unde procedeele clasice nu pot fi aplicate. Această limitare este impusă pe de o parte, de grosimile mici și foarte mici ale componentelor ce se sudează (0,05.. ..1,0 mm) rezultînd așa zisele microsuduri, iar pe de altă parte influențelor negative asupra zonelor vecine, îmbinării sudate. Ca urmare, în ultimii douăzeci, chiar douăzeci și cinci de ani, au apărut noi procedee de sudare ale tablelor subțiri din aluminiu, sau aliaje ale acestuia, cum sînt : sudarea electrică prin presiune, sudarea la rece, sudarea prin presiune în câmp ultrasonor și sudarea cu energie înmagazinată. Din cadrul ultimului procedeu de sudare, a început să se detașeze, sudarea prin presiune cu energie înmagazinată în câmp electrostatic. Incepînd cu anii 1950-51 cercetători din diferite țări propun aplicarea procedeeului respectiv, la sudarea aluminiului /54,55,85,104, 105,106/. Deși s-au obținut rezultate bune în domeniul amintit, acestea nu au fost suficient și imediat valorificate în industria noastră, datorită problemelor tehnice legate de construcția mașinilor pentru sudare, mai precis lipsa unor elemente electrice și electronice cum sînt condensatorii de capacitate și tensiune mare, respectiv semiconductori de putere. Cu toate acestea s-au realizat între anii 1964-1968 la catedra Utilajul și tehnologia sudării de la facultatea de Mecanică din IPTV Timișoara, sub coordonarea directă a tov.prof.dr.doc.șt.ing. Vladimir Popovici două tipuri de mașini pentru sudarea prin presiune în puncte cu energie înmagazinată în condensatoare de 0,620 KJ -tipul MSCIP-1L și de 1,25 KJ -tipul MSCIP-2, primele de acest tip din țară /77/. Concomitent cu dezvoltarea elementelor semiconductoare de putere, în speță a diodelor și tiristorilor, au început să se abordeze tot mai variate scheme de încărcare și descărcare a

bateriilor de condensatoare de capacitate pînă la $100.000 \mu F$, sau chiar mai mult și la tensiuni de încărcare de 300-500 V /51,61,71,126/. Cu toate acestea literatura de specialitate dispune pînă în prezent de puține date experimentale și teoretice privind procedeul și echipamentele de sudat prin presiune în câmp electrostatic, fără să precizeze mai ales, anumite relații analitice, sau grafice pentru stabilirea regimurilor de sudare, pe de o parte, sau anumite indicații privind concepția echipamentului, pe de altă parte.

Stabilirea condițiilor ce determină productivitatea și aplicabilitatea procedurii de sudare prin presiune cu energie înmagazinată în condensatoare, a optimizării tehnologiilor de sudare pentru anumite metale, precum și realizarea unui model experimental adoptat la cerințele menționate, constituie tematica cercetărilor desfășurate în prezenta lucrare.

Teza se extinde pe 152..pagini, în 6 capitole și cuprinde.. 93. figuri, 27... tabele, respectiv peste 130 referiri bibliografice din care 16 sînt lucrări publicate, comunicate, și/sau realizate de autor singur respectiv în colaborare.

În capitolul 1 se arată că procedeul de sudare menționat, constă din acumularea energiei electrice într-o baterie de condensatoare într-un anumit timp și cedarea acestei energii în momentul descărcării componentelor ce se sudează, într-un alt timp, cu mult mai mic decît primul. Cedarea de energie se poate face, fie direct pieselor ce se sudează /64/, fie prin intermediul unui transformator de sudare /47,48,49,77/. Tot în acest capitol se analizează factorii și parametrii electrice care influențează procesul de lucru în cazurile sudării prin presiune : în puncte, cap la cap și în linie. De asemeni, se prezintă tabelar, situația mașinilor de sudat prin presiune cu energie înmagazinată în condensatoare, atît pe plan mondial, cît și la noi în țară, respectiv schemele electrice și ciclurile de sudare pe care le realizează diferite mașini.

Procesele de încărcare-descărcare al bateriilor de condensatoare prin transformatorul de sudare se prezintă în capitolul 2. Datele tehnice cuprinse în acest capitol împreună cu ecuațiile curenților de sudare asigură instrumentul tehnico-științific pentru concepția modelului experimental prezentat în capitolul 3,

cu ajutorul căruia s-a desfășurat programul de experimentări și prezentat în capitolul 5. Tot în capitolul 2 se prezintă o serie de scheme pentru încărcarea bateriilor de condensatoare, respectiv descărcarea lor prin transformatorul de sudare.

Concepția unui model experimental pentru sudarea prin presiune cu energie înmagazinată în condensatoare de 2,7 KJ, face obiectul capitolului 3. Modelul este simbolizat prin indicativul MSC-2700, iar puterea acestei mașini fiind cea mai mare din "Sistemele de echipamente pentru sudare și tăiere din RSR elaborate de Institutul de Sudură și Încercări de Materiale Timișoara, în dec.1974. și aprobată de organele centrale de stat.

În componența modelului experimental, care a fost în totalitate executat la catedra Utilajul și tehnologia Sudării de la Facultatea de Mecanică din IPTV Timișoara intră componente de fabricație curentă cum ar fi: condensatoarele electrolitice din care s-au construit bateriile pentru acumularea energiei necesară sudării, relee și butoane pentru diferite comenzi, aparate de măsură, dar și elemente construite special pentru echiparea modelului MSC-2700 precum ar fi: transformatorul de sudare, sistemul de acționare; circuitul electric exterior, circuitele de încărcare-descărcare al condensatoarelor prin transformatorul de sudare; pupitrul de comandă etc. De asemenea se prezintă standul pentru încercarea la șoc a condensatoarelor electrolitice, realizat în scopul testării acestora, înainte de montarea lor în bateriile de condensatoare în scopul selecției privind rezistența la încercări repetate. În cele două baterii de la modelul experimental s-au montat numai condensatoare care au trecut pragul unui anumit număr de cicluri impus în programul de încercări. În finalul acestui capitol se indică caracteristicile tehnice ale modelului realizat, parametrii de funcționare și normele de exploatare și de protecția muncii.

Cercetările experimentale și rezultatele obținute fac obiectul capitolelor 4 și 5. În capitolul 4 se prezintă oscilogramele curentului de sudare, precum și modalitățile de modelare ale acestuia. Pentru a se putea trage concluzii cât mai utile aplicațiilor industriale, s-a dat și o metodă de calcul al curentului de sudare pe calculatorul electronic și s-a determinat experimental influența parametrilor circuitului de sudare asupra acestuia.

Capitolul 5 se ocupă de realizarea programului de experimentări elaborat atât în vederea testării modelului experimental, cât și pentru determinarea parametrilor optimi de sudare a tablelor de aluminiu, cupru și oțel inoxidabil de la 0,06...5,0 mm grosime mai ales atunci când îmbinarea sudată conține două table de grosime diferită. Se indică tipurile și dimensiunile epruvetelor sudate paleta parametrilor folosiți la sudare, precum și rezultatele investigațiilor făcute asupra punctului sudat, respectiv asupra ZIT-ului cu ajutorul microscopiei electronice. Se arată variația elementelor în cazul sudării; aluminiu - cupru și oțel inoxidabil cu oțel obișnuit (OL 37). În finalul acestui capitol se prezintă nomograme pentru determinarea parametrilor optimi de sudare pe modelul MSC-2700, pentru diferite materiale (Al,Cu,Al+Cu,etc).

Lucrarea se încheie cu capitolul 6 în care se prezintă, concluziile și considerațiile finale mai importante din teză, precum și contribuțiile originale referitoare la procesul și mașinile de sudare prin presiune cu energie înmagazinată în condensatoare și cu descărcare prin transformatorul de sudare.

Rezultatele obținute și concretizate în teza de doctorat sînt urmarea unei activități de cercetare și concepție a autorului, desfășurate pe o durată de 9 ani sub îndrumarea sistematică a conducătorului științific, tovarășul prof.dr.doc.șt.ing.POPOVICI VLADIMIR, căruia îi mulțumesc din toată inima pentru înalta competență cu care l-a îndrumat și sprijinit pe toată perioada elaborării tezei precum și pentru formarea sa ca inginer, cercetător științific și cadru didactic.

De asemenea, autorul mulțumește conducerii catedrei UTSDT de la Facultatea de Mecanică din IPTV Timișoara și tuturor colegilor de la această catedră cadre didactice și personal TESA, precum și colegilor de la cat.TCM, care l-au sprijinit în elaborarea lucrării de doctorat.

Pentru sprijinul acordat la realizarea modelului MSC-2700, și a încercărilor experimentale mulțumesc conducerii ISIM Timișoara și colegilor de la atelierele A₄, A₅, A₆, A₇ și C₃ cu care a colaborat pe parcursul realizării lucrării.

CAPITOLUL 1.

ENERGIA ÎNMAGAZINATA ÎN CÎMP ELECTROSTATIC UTILIZATA ÎN PROCESELE DE SUDARE PRIN PRESIUNE.

Șudarea cu energie înmagazinată în câmp electrostatic sau cum mai este denumită, sudarea cu energie înmagazinată în condensatoare este un procedeu tehnologic prin care se realizează o îmbinare dintre două, sau mai multe piese prin trecerea curentului de sudare, sub forma unui impuls dat de o anumită cantitate de energie, relația (1.1) acumulată în prealabil într-o baterie de condensatoare :

$$E = \frac{C \cdot U_c^2}{2} \quad (1.1)$$

unde: E - energia înmagazinată în condensatoare în [Joule];
C - capacitatea tuturor condensatoarelor puse în paralel în [F] ;
U_c - tensiunea de încărcare a bateriei de condensatoare în [V]

Sudarea cu energie înmagazinată în condensatoare face parte din categoria procedeelor de sudare prin presiune cu impuls și se caracterizează prin aceea că energia absorbită de la rețeaua de curent alternativ nu este utilizată direct în procesul de sudare, ci este transformată de elementele schemei de alimentare într-un impuls de curent cu anumite caracteristici. Acumularea energiei se face într-un timp mai îndelungat (cîteva secunde), cu putere mică, în timp ce cedarea energiei se face rapid (miimi de secundă), cu puteri optime procesului de sudare, care este un avantaj important al procedurii. De asemeni, prin acest procedeu se pot suda între ele diferite metale, respectiv energia pentru sudare se poate optimiza și doza precis, în funcție de natura și grosimea pieselor ce se sudează. Mașinile pentru sudare cu energie înmagazinată în condensatoare se clasifică în : mașini cu descărcare directă a energiei din bateriile de condensatoare pe circuitul de sudare și cu descărcare prin transformator intercalat între circuitul de sudare și bateria sau bateriile de condensatoare.

Lucrarea tratează ultimul tip de descărcare, cu echipamentul aferent.

1.1. Sudarea prin presiune în puncte cu energie înmagazinată în condensatoare.

Schema de principiu a sudării prin puncte cu energie înmagazinată în condensatoare este prezentată în figura 1.1.

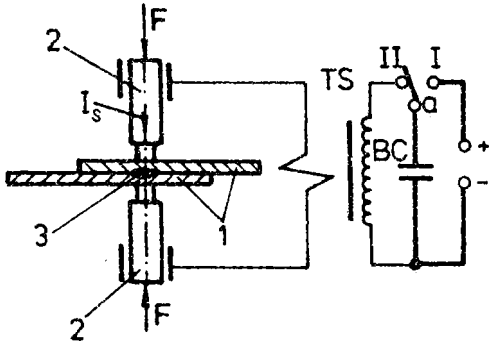


Fig.1.1. Schema de principiu a sudării în puncte: TS-transformator de sudare; Q-întrerupător; BC-bateria de condensatoare.

unde: I_s - curentul de sudare în [A] ;

R_c - rezistența de contact între două materiale în ohmi ;

t - timpul de trecere al curentului I_s în sec .

Ca urmare a faptului, că în timpul sudării, rezistența de contact R_c și curentul I_s , nu rămân constanți, căldura Q se determină cu relația (1.3) :

$$Q = 0,24 \int_0^t I_s^2 \cdot R_c \cdot dt \quad (1.3)$$

În caz concret, căldura este funcție de următorii parametrii : curentul de sudare I_s , rezistența de contact R_c sau t și nu toată este utilizată la topirea materialului din spațiul pieselor supuse sudării. O parte din căldură se pierde prin metal (piese) și electrozi, iar o parte prin transmiterea ei în spațiul dintre electrozi și piese.

Topirea materialului dintre piese va depinde de raportul

Componentele de sudat 1, sînt presate de electrozii 2 cu o anumită forță F bine determinată, după care între cei doi electrozi se închide un curent I_s , curent ce trece și prin piesele 1. Căldura rezultată ca urmare a rezistenței de contact, va realiza între

Căldura Q degajată la sudare va fi dată de legea lui Joule :

$$Q = I_s^2 R_c t \quad [J] = 0,24 I_s^2 \cdot R_c \cdot t \quad (1.2)$$

creșterii căldurii față de pierderile menționate. În afara acestor fenomene, apare o căldură, dată tot de legea Joule, pe rezistența pieselor Rp. Experimental s-a determinat la mașinile clasice de cca 50 Hz că o parte mare de energie se pierde datorită transmiterii de căldură spre exterior și numai câteva procente din cantitatea de energie este utilizată la sudare. De exemplu, în cazul pieselor din metal, cantitatea de căldură utilă este de cca 7%, în cazul pieselor de aluminiu cca 3%, iar la cupru și mai mică. /61/. De aceea, sudarea cu energia înmagazinată în condensatoare are multe avantaje tehnologice și energetice, găsindu-și câmp de aplicare la sudarea tablelor de Al, Cu, etc. de grosime între 0,05...1,0 mm. Se remarcă în primul rând puterea foarte mică absorbită de la rețea, la încărcarea bateriei de condensatoare, care este principalul consumator al mașinii de sudat, pe de o parte, și utilizarea lor la sudarea unor materiale cu cele mai diverse proprietăți; Al, Cu, Mg, Ni, Zn, etc. necesare unor domenii industriale și care cer noi tehnologii de sudare, pe de altă parte.

În tabelul 1.1. sînt date, comparativ, puterile mașinilor de sudat electric prin presiune în c.a. și a mașinilor de sudat cu energie înmagazinată în condensatori /77/ iar în tabelul 1.2 aceeași comparație în cazul sudării foliilor din nichel /44;128/.

S_n [KVA]	5,8	15	30	60	350	470	
DA=50%							Din punct de vedere energetic, avantajul procedurii de sudare cu energie înmagazinată în câmp electrostatic, se datorește timpilor de încărcare și descărcare ai bateriei de condensatori mult diferiți, în sensul că timpul de încărcare t_{inc} , este cu mult mai mare față de timpul de descărcare t_d :
Q [KJ]	0,08	0,063	0,225	1,08	2,70*	8,10	

* Executat în cadrul tezei de doctorat la cat. UTS ca model experimental.

S_n (mm ²)	0,2+0,2	0,5+0,5	0,7+0,7	
c.a.	3...5	15...20	20...25	
En. în cond.	0,1	0,3	0,5	

diferiți, în sensul că timpul de încărcare t_{inc} , este cu mult mai mare față de timpul de descărcare t_d :

$$t_{inc} \gg t_d \quad (1.3)$$

Tehnologic, procedeul de sudare cu energie înmagazinată în condensatoare, asigură o concentrare a căldurii într-un anumit spațiu, (permite dozarea precisă a energiei de sudare) și pe lângă procedeul de sudare cu unde ultrasonore este unul din procedeele ce se aplică la sudarea tablelor și foliilor din aluminiu, cupru și oțeluri speciale.

Din cercetările experimentale făcute /46,47,48,77,83,105, 106/ se pot preciza următoarele:

- pentru grosimi sub 0,5 mm este procedeul ce se recomandă la sudarea aluminiului, cuprului, alături de sudarea cu unde ultrasonore;
- pentru grosimi între 1,0-0,5 (0,2) mm, poate concura cu orice procedeu de sudare posibil de aplicat grosimilor respective;
- pentru grosimi de peste 1,0 mm, procedeul se poate folosi, însă fără avantaje deosebite față de procedeul de sudare electrică prin presiune.

1.2. Sudarea prin presiune cap la cap cu energie înmagazinată în condensatoare.

Pentru materialele cu conductibilitate termică și electrică mare, cum sînt cuprul și aluminiul, respectiv pentru anumite secțiuni, procedeele obișnuite de sudare cap la cap nu dau rezultate mulțumitoare întotdeauna. Conductibilitatea termică mare, conduce la disiparea rapidă a căldurii de la locul de sudat, ajungîndu-se chiar în imposibilitatea realizării sudurii.

Cercetările făcute în ultimii ani la noi în țară și pe plan mondial, au demonstrat că sudarea cu energie înmagazinată în condensatoare se poate face în bune condiții și prin procedeul cap la cap./46,77,105, 106/.

Schema de principiu a sudării cap la cap cu energie înmagazinată în condensatoare este prezentată în figura 1.2

iar procesul sudării este asemănător celui prin puncte cu energie înmagazinată în câmp electrostatic

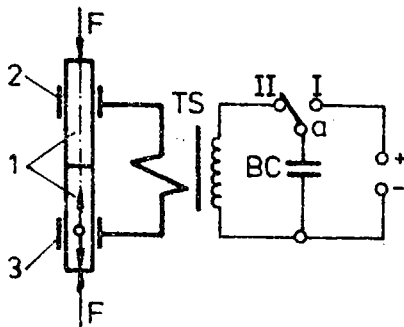


Fig.1.2.Schema de principiu a sudării cap la cap cu energie înmagazinată în condensatoare. 1-piese ce se sudează; 2-bocul fix al mașinii, 3-bocul mobil; TS Transformatorul de sudare; BC -bateria de condensatori; a-întrerupător.

1.3. Sudarea prin presiune în linie cu energie înmagazinată în condensatoare.

Procedeul de sudare prin presiune în linie cu energie înmagazinată în condensatoare a cărui schemă este prezentată în figura 1.3, se realizează prin impulsuri de curent de o anumită frecvență înmagazinată într-o baterie de condensatoare BC.

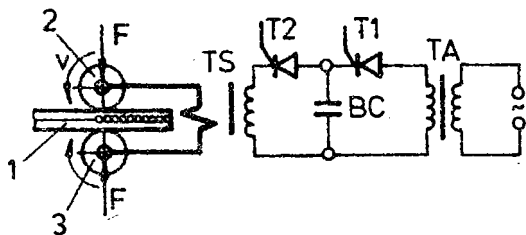


Fig.1.3. Schema de principiu a sudării prin presiune în linie.

fășurării secundare a transformatorului auxiliar TA se face prin tiristorul T1 (încărcare-redresare). Energia $E = U_{cmax}^2 / 2$ este transferată prin tiristorul T2 (descărcare) pe înfășurarea primară a transformatorului de sudare TS. În felul acesta, apare în circuitul secundar al TS impulsuri de curent de durată foarte mică, asigurând astfel formarea unor puncte sudate în piesele 1.

Dacă se corelează corespunzător viteza de rotație v a rotelor, cu frecvența impulsurilor de curent se poate obține o suprapunere parțială a punctelor sudate, rezultând în felul acesta o cusătură continuă. Regimul de sudare se poate influența prin ; modificarea : capacității BC, a tensiunii U_c de încărcare a condensatoarelor, a vitezei de sudare (viteza de rotație a rotelor) și a forței de apăsare a pieselor.

Calitatea cusăturii poate fi influențată și prin modul cum lucrează cele două tiristoare. Pentru o cusătură bună, atunci când tiristorul T1 este deschis (conduce), tiristorul T2 trebuie să fie blocat și invers.

Indiferent de procedeul de sudare: în puncte, cap la cap sau în linie; energia necesară sudării este acumulată în câmp electrostatic (condensatoare). În afară de sistemul menționat și studiat în lucrare energia mai poate fi acumulată în câmp electromagnetic, în baterie de acumulate și în volant.

BC se transmite prin transformatorul de sudare TS, asupra pieselor 1 care se deplasează între rolele 2 și 3. În-ăr-area BC pînă la valoarea maximă a tensiunii U_{cmax} a în-

1.4. Mașini pentru sudarea prin presiune cu energie înmagazinată în condensatoare.

1.4.1. Mașini pentru sudarea prin presiune cu energie înmagazinată cu o singură baterie de condensatoare.

Mașinile utilizate la sudarea prin presiune în puncte, linie și cap la cap, cu energie înmagazinată în condensatori diferă de mașinile de sudat electric prin presiune ce funcționează - în curent alternativ (50 Hz), de regulă monofazată.

Mașinile de sudat electric prin presiune se alimentează cu energie electrică direct de la sursa de curent alternativ care este transformatorul de sudare TS, în timp ce mașinile de sudat prin presiune cu energie înmagazinată, primesc energia de la o baterie de condensatoare, care în prealabil a fost încărcată de la o sursă de curent alternativ, după ce acesta a fost redresat. Astfel, supra sarcina ce apare în momentul sudării, nu este repartizată și sistemului de alimentare alternativ. În afară de cele specificate, mașina asigură obținerea unui curent de sudare mare, într-un timp foarte scurt, dat de parametrii electrici ai circuitului de descărcare.

Schema de principiu a unei mașini de sudat cu energie înmagazinată în condensatoare este prezentată în figura 1.4., iar ciclul după care lucrează mașina în figura 1.5.

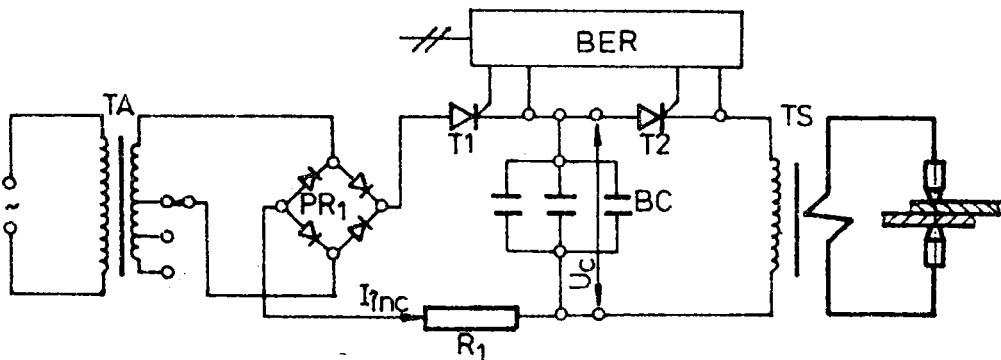


Fig.1.4. Schema electrică de principiu a unei mașini de sudat cu energie înmagazinată în condensatoare.

Transformatorul auxiliar TA, împreună cu puntea redresoare PR asigură încărcarea bateriei de condensatoare BC prin rezistența R, și tiristorul T₁. Creșterea tensiunii U_c la bornele BC,

are loc după o curbă exponențială, figura 1.5.b. Descărcarea BC pe înfășurarea primară a transformatorului TS este dată de tiristorul T_2 . Energia acumulată în BC, relația (1.1) trebuie să fie suficientă pentru realizarea sudurii, ceea ce de fapt se poate exprima prin relația (1.4):

$$E_{nec} = \frac{E}{\eta_m} \quad (1.4)$$

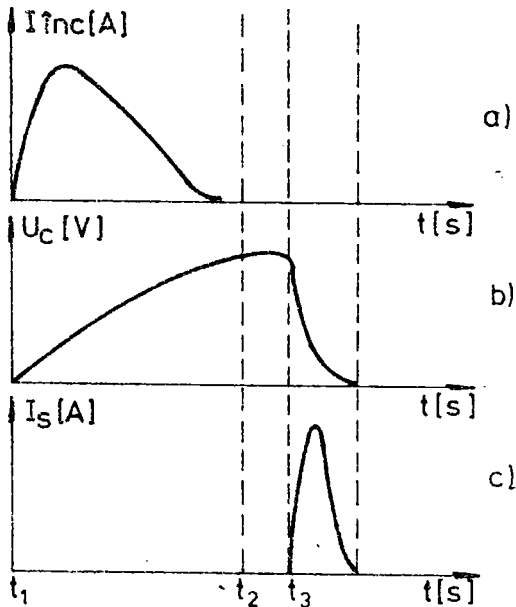
unde:

E_{nec} - energia totală ;

E - energia pentru realizarea sudurii ;

η_m - randamentul mașinii

La momentul $t=t_1$, tiristorul T_1 primește un impuls pe poartă de la blocul electronic de reglare BER și începe încărcarea bateriei de condensatoare BC. Când se atinge nivelul de tensiune maxim U_{cmax} , tiristorul T_1 va întrerupe alimentarea bateriei, momentul t_2 , iar după un $t=t_3-t_2$, tiristorul T_2 va intra în conducție și în felul acesta energia de pe BC se transmite înfășurării primare a transformatorului TS, iar în secundar apare un impuls de



curent I_s , ce realizează îmbinarea dintre componente. În funcție de parametrii circuitului de sudare : C -capacitatea bateriei BC, L_t -suma inductivităților; R_t -suma rezistențelor (secundare+pieșe) ; K -raportul de transformare a TS; impulsul curentului de sudare poate avea un caracter aperiodic, fig. 1.6.a, cu atenuare critică fig.1.6.b și periodic amortizat, fig. 1.6.c. Cercetările întreprinse în vederea ridicării capacității și durabilității

Fig.1.5. Variația în timp a curentului de încărcare I_f , a tensiunii pe condensatoare, U_c și a curentului de sudare I_s

sudurilor în așa zisele micropuncte și/sau microrelief, precum și în vederea păstrării proprietăților materialului de bază, au arătat că durata impulsului de curent să fie cca, a zecea parte dintr-o perioadă /43,12o/. Așa se explică că la sudarea cu energie înmagazinată în condensatoare, pierderile de căldură prin electrozi și prin ZIT sînt practic neglijabile.

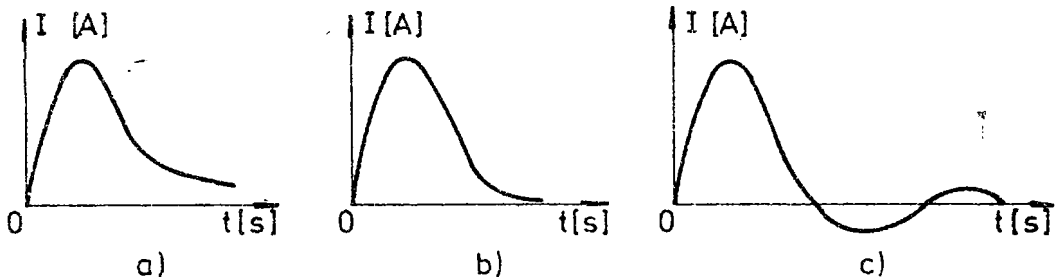


Fig.1.6. Variația curentului de sudare: a) - $R_t^2 > \frac{4L_t}{C}$;
 b) - $R_t^2 = \frac{4L_t}{C}$; c) - $R_t^2 < \frac{4L_t}{C}$

Experimental s-a determinat cantitatea totală de căldură consumată la sudarea unor table din oțel cu conținut scăzut de C, de grosime 0,1+0,1 mm în variantele : energie înmagazinată în condensatoare și sudarea electrică prin presiune în c.a., obținându-se în c.a. un consum de energie :

$$Q_{c.a.} = 4,5 Q_{en \text{ în.}} \quad (1.5)$$

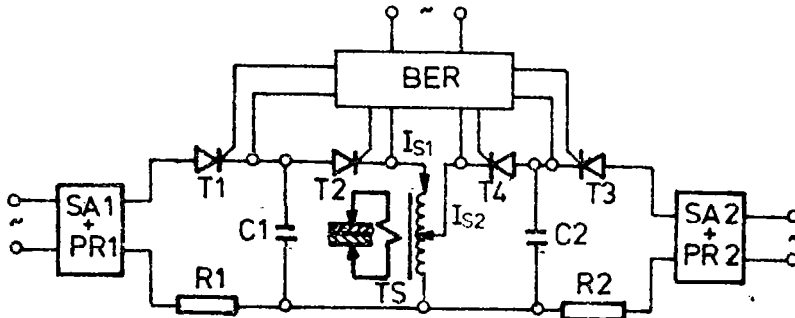


Fig.1.7. Schema electrică de principiu a unei mașini de sudat cu energie înmagazinată în puncte cu două circuite de descărcare.

Datorită avantajelor amintite și faptului că au o putere instabilă cu mult mai mică decât a mașinilor de c.a., este îndreptățită introducerea mașinilor cu energie înmagazinată în producția microsudurilor, atât de forma celor prezentate la paragraful 1.4.1, cât a noilor soluții, /43,47,48/

1.4.2. Mașini pentru sudarea prin presiunea cu energie înmagazinată cu două baterii de condensatoare distincte
Schema electrică de principiu a acestei mașini este prezentată în figura 1.7.

Existența unor circuite duble de descărcare a condensatoarelor C_1 și C_2 prin transformatorul de sudare TS, face posibil obținerea unor cicluri de sudare de forma celor arătate în fig.1.8.

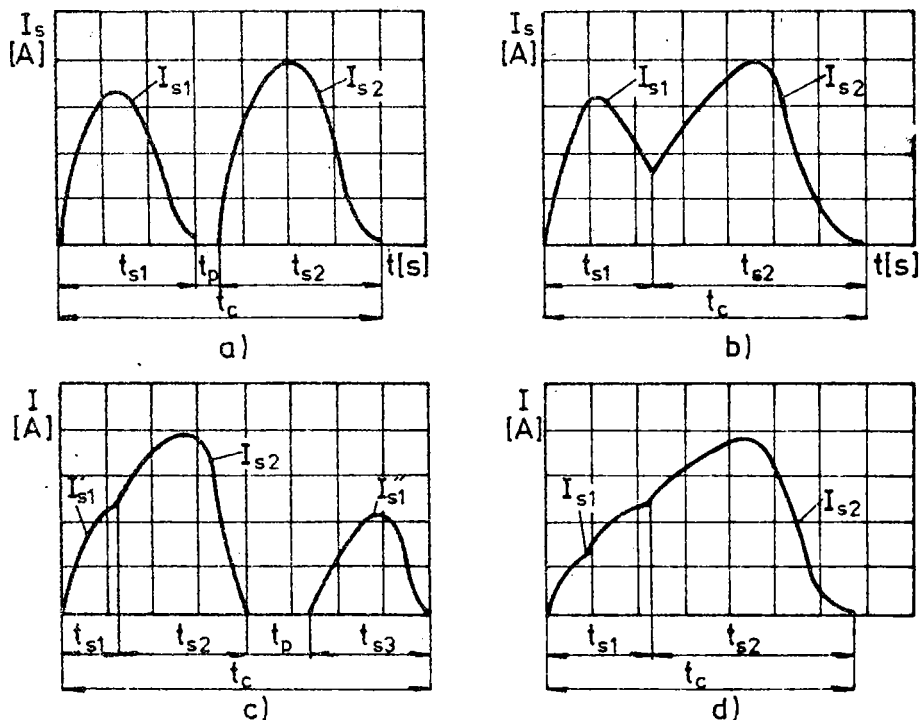


Fig.1.8. Variația curentului de sudare ale mașinilor de sudat cu energie înmagazinată în condensatoarele C_1 și C_2 : a și c - preîncălzire - pauză - sudare ; b și d - preîncălzire - sudare.

O problemă majoră în realizarea mașinilor de sudat cu energie înmagazinată o constituie realizarea unei energii constante,

Energie care se introduce în condensatoare și care se cedează repetat pentru realizarea punctelor. Acest fenomen dă stabilitatea procesului și calitatea sudurii. De aceea, toate mașinile moderne sînt echipate cu un sistem electronic de stabilizare a alimentării mașinii, adică menținerea constantă a tensiunii bateriei de condensatoare pînă la începerea sudării sau/și pînă la atingerea unei forțe între electrozii de strîngere a pieselor.

Prin standarde se cere ca abaterea tensiunii stabilizate să nu depășească $\pm 1\%$.

Situația mașinilor de sudat prin presiune în puncte cu energie înmagazinată în condensatoare la nivelul anului 1985 este prezentată în tabelul 1.3.

Tabelul 1.3.

Caract Tipul	U_t (V)	U_c (V)	C (μF)	E_{max} (J)	F_{elec-} $trozi$ (daN)	Sistem acționare electrozi trod	Cursa elec- trozi (mm)	Gabarit (mm)
o	1	2	3	4	5	6	7	8
MSCIPT- IL RSR	220	$\frac{600}{1200}$	860	0,620	0..2,5	Mecanic	15	1200 100 950
MSCIPT-2 RSR	220	3500	10.000	1250	80	Pneum.	15	1260 x 540 x 80
PPG-450 RSR	220	30-300	10.000	450	20-120	Pneum.	50	1020 x 1060 x 730
Minox 500 Schweiss- steh Austria	220	18-225	20.000	500	3-25	Pneum	20	-
F 31/I.0 Messer- Griesheim RFG	220	-	-	300	0,5-12	Pneum.	25	1100 x 1000 x 560

0	1	2	3	4	5	6	7	8
M.J.K.120 URSS	220	500	-	240	3-63	Pneum.	30	1300 x 1000 x 730
SSP-3 ¹ URSS	220	-	-	0,4 KVA	0,1-7	Pneum.	15	1025 x 880 x 1290
SS-7 URSS	220	-	-	2,0 KVA	-	Pneum.	15	1180 x 1000 x 1600
TKM-15 ¹ URSS	220	-	-	0,5 KVA	1-60	Pneum.	15	685 x 800 x 1285
TKM-718 URSS	220	-	-	0,5 KVA	0,1-7	Pneum.	15	660 x 600 x 140
MSC- 2700*	220	30-270	100.000	2700	10-120	Pneum.	30	1410 x 720 x 960

* MSC-2700 executată ca model experimental în vederea elaborării tezei de doctorat.

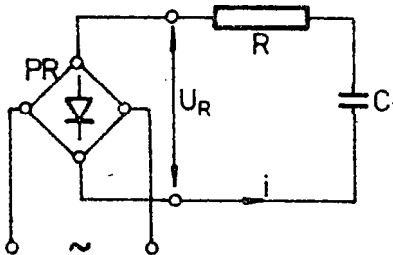
CAPITOLUL 2.

OPTIMIZAREA PROCESULUI DE ÎNCĂRCARE-DESCĂRCARE A CONDENSATOARELOR PRIN TRANSFORMATORUL DE SUDARE

2.1. Optimizarea procesului și schemelor de încărcare a bateriilor de condensatoare.

Parametrii circuitului de sudare, respectiv parametrii mașinii de sudat cu energie înmagazinată, determină atât procesul de încărcare, cât și de descărcare al condensatoarelor. Astfel la o stabilire incorectă a parametrilor circuitului de încărcare a bateriei de condensatoare (datorită necunoașterii proceselor respective) se poate ajunge, fie la situația când puterea de încărcare este aproximativ egală cu puterea utilă de descărcare a BC ($t_{inc} = t_{desc}$), fie la cealaltă extremă, când puterea este așa de mică încât rezultă o productivitate scăzută a mașinii.

Cea mai simplă schemă de încărcare a condensatoarelor de la o sursă de curent continuu, este prezentată în figura 2.1. În cazul unui circuit R-C, variația



tensiunii U_C pe condensatoare, este descrisă de relația (2.1), iar curentul de încărcare de relația (2.2). S-a considerat că - la $t=0$ și $U_C=0$.

$$U_C = U(1 - e^{-\frac{t}{T}}) \quad (2.1)$$

$$i = \frac{U}{R} e^{-\frac{t}{T}} \quad (2.2)$$

unde:

$T = R.C$ - constantă de timp a circuitului de încărcare;

R - rezistența de limitare a curentului de încărcare;

C - capacitatea condensatoarelor.

În general se cunoaște tensiunea de încărcare a condensatoarelor

gal. 667
759 A

relor care este U_C , respectiv se cunoaște timpul de încărcare, notat cu t_{in} . Practic acest lucru va fi posibil numai dacă parametrii circuitului electric de încărcare se vor alege în așa fel încît să fie satisfăcută relația (2.3):

$$U_C = U (1 - e^{-\frac{t_{in}}{T}}) \quad (2.3)$$

Pentru schema din figura 2.1., pe durata unui ciclu, se poate determina valoarea medie a curentului, relația (2.4), precum și : puterea de calcul P_C ; curentul maxim de încărcare I_{max} ; puterea maximă P_{max} , puterea medie disipată pe rezistența R și randamentul circuitului η .

$$I = \sqrt{\frac{1}{t_c} \int_0^{t_c} i^2 dt} \quad (2.4)$$

unde :

t_c - timpul unui ciclu de încărcare a condensatoarelor;

i - curentul dat de relația 2.2.

Utilizînd în calcule valoarea medie a curentului de încărcare notată cu

$$I_{mi} = \frac{C \cdot U_C}{t_{in}} \quad \text{și valoarea medie a puterii utile}$$

$$P_{mu} = \frac{C \cdot U_C^2}{2} \cdot \frac{1}{t_{in}}$$

valorile; I^* ; P_C^* ; I_{max}^* ; P_{max}^* ; R_R^* și η în unități relative sînt date în relațiile (2.5)

$$I^* = \sqrt{\frac{t_{in}^* (1 - e^{-2 t_{in}^*})}{2 (1 - e^{-t_{in}^*})^2}} \cdot \sqrt{DA} \quad (2.5)$$

$$P_C^* = \sqrt{\frac{2 \cdot t_{in}^* (1 - e^{-2 t_{in}^*})}{(1 - e^{-t_{in}^*})^4}} \cdot \sqrt{DA}$$

$$I_{max}^* = \frac{t_{in}^*}{1 - e^{-t_{in}^*}}; \quad P_{max}^* = \frac{2 t_{in}^*}{(1 - e^{-t_{in}^*})^2}; \quad P_R^* = \frac{(1 - e^{-2 t_{in}^*}) / DA}{(1 - e^{-t_{in}^*})^2};$$

$$\eta = \frac{1 - e^{-t_{in}^*}}{2}$$

unde :

$$t_{in}^* = \frac{t_{in}}{T}; \quad P_c = U \cdot I - \text{puterea de calcul};$$

$$DA = \frac{t_{in}}{t_c} - \text{durată relativă de lucru.}$$

Mărimile date de relațiile (2.5) și prezentate grafic în figura 2.2, sînt funcție de timpul de încărcare $t_{in}^* = t_{in}/T$ și de durata relativă de lucru DA, după cum urmează :

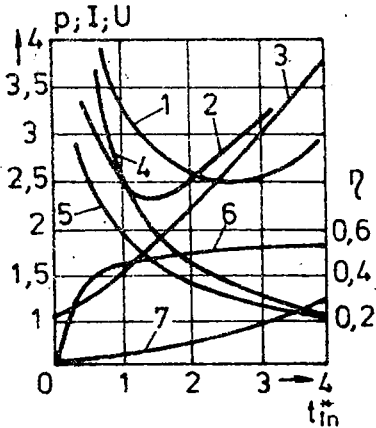


Fig. 2.2. Variația curentului, puterilor, randamentului și tensiunii, funcție de t_{in}^* :

$$1-P_c/\sqrt{DA} = f(t_{in}^*); \quad 2-P_{max}/2 = f(t_{in}^*); \quad 3-I_{max} = f(t_{in}^*);$$

$$4-P_R/\sqrt{DA} = f(t_{in}^*); \quad 5-U/U_c = f(t_{in}^*); \quad 6-\eta = f(t_{in}^*); \quad 7-1/\sqrt{DA} = f(t_{in}^*).$$

loarea curentului este mult sub I_{max}^* și că în funcție de acel curent se va dimensiona puntea redresoare, respectiv se vor alege diodele la tensiunea U_c .

Fenomenele menționate mai sus, sînt însă valabile numai la primul proces de încărcare a bateriei de condensatoare, deoarece în procesul tranzistoriu, de descărcare a bateriei de condensatoare, spre sfîrșitul primei alternanțe tensiunea U_c pe condensatoare, își schimbă sensul, figura 2.3. Acest fenomen face ca bateria de condensatoare să nu fie ulterior încărcată de la o tensiune zero

- puterea de calcul P_c și puterea maximă P_{max} , trec printr-un minim, una în intervalul $(2-2,3)t_{in}^*$ și cealaltă în intervalul $(1-1,5)t_{in}^*$. Astfel, dacă condensatoarele s-ar încărca de la un generator de c.c., regimul de încărcare optim se alege în intervalul în care puterea disipată să fie minimă, adică timpul de încărcare să fie egal cu $(2-2,3)t_{in}^*$, (figura 2.2).

- în cazul cînd condensatoarele sînt încărcate de la o punte redresoare, printr-o rezistență, timpul de încărcare va fi egal cu t_{in}^* și anume în intervalul $t_{in}^* = 1,5 - 2,0$. În această situație, puterea transformatorului care este determinată direct de P_c^* este apropiată de puterea maximă, dar mai important este faptul că va-

ci de la o tensiune garezcare, negativă U_c^- . Valoarea U_c^- , depinde de constanta de timp T a circuitului de încărcare, și este mai importantă în cazul unei descărcări periodic amortizată, figura 1.6.c.

Reîncărcarea condensatoarelor este legată de pierderile suplimentare de energie și în final de înrăutățirea indicatorilor

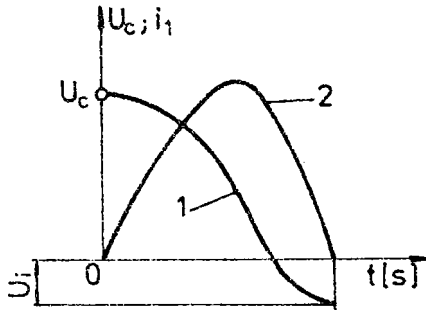


Fig.2.3. Variația tensiunii de descărcare a condensatoarelor și a curentului prin transformatorul de sudare : $1-U_c = f(t)$ și $2-i_1 = f(t)$.
 și $2-i_1 = f(t)$.
 tivă cu gama, rezultă relația (2.6) :

$$\gamma = \frac{U_c^-}{U_c} \quad (2.6)$$

Curentul maxim de încărcare, puterea maximă și randamentul în mărimi relative și pentru un circuit de încărcare simplu, prezentat în figura 2.1, sînt date de relația (2.7) :

$$I_{\max}^* = \frac{(1 - \gamma) \cdot t_{in}^*}{1 - e^{-t_{in}^*}} (1 - \gamma \cdot e^{-t_{in}^*})$$

$$P_{\max}^* = 2 \cdot t_{in}^* \frac{1 - e^{-t_{in}^*}}{1 - e^{-t_{in}^*}} \left(\frac{1 - \gamma \cdot e^{-t_{in}^*}}{1 - e^{-t_{in}^*}} - \gamma \right) \quad (2.7)$$

$$\eta = \frac{1 + \gamma}{2} \frac{1 - e^{-t_{in}^*}}{1 - \gamma \cdot e^{-t_{in}^*}}$$

energetici ai circuitului de încărcare :

$$I_{\max}^*; P_{\max}^* \text{ și } \eta.$$

Pentru a ilustra prin calcul pierderile respective, se vor calcula mărimile date de relația (2.5), în cazul cînd rezistența circuitului de încărcare se consideră constantă, adică

$R = Ct$. Dacă se notează raportul dintre valoarea negativă a tensiunii și cea pozi-

Dependența grafică a puterii maxime, a curentului maxim și a randamentului funcție de gama sînt prezentate în figura 2.4

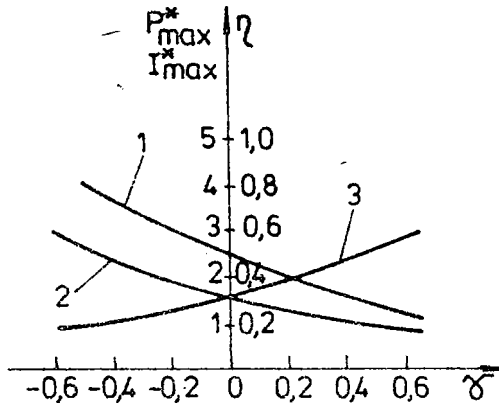


Fig.2.4. Variația puterii maxime, a curentului maxim și randamentului, funcție de gama : 1- $P_{\max}^*/2 = f(\delta)$; 2- $I_{\max}^* = f(\delta)$; 3- $\eta = f(\delta)$.

rațional utilizarea în schemele de descărcare a condensatorilor un element electronic, tiristor, care împiedică reîncărcarea bateriei de condensatoare, sau să se schimbe periodic polaritatea încărcării condensatoarelor.

Soluția primă a fost aleasă în prezenta lucrare la execuția modelului experimental de sudat cu energie înmagazinată de 2,7 KJ, în dauna celei de a doua, care are un plus de avantaj privind indicii energetici.

Schemele electrice de încărcare a bateriei de condensatoare de tipul celei din figura 2.1. au un randament foarte scăzut, (a se vedea diagrama din figura 2.4). De aceea, la mașinile moderne de sudat prin presiune cu energie înmagazinată în condensatoare, se folosesc scheme de încărcare monofazate sau trifazate care conțin în circuitul de curent alternativ inductivități sau capacități.

2.1.1. Scheme de încărcare monofazate a bateriilor de condensatoare.

În schemele monofazate de încărcare a bateriilor de condensatoare este rațională introducerea unei inductanțe X_N de netezire

Încărcarea condensatoarelor de la mașinile de sudat cu energie înmagazinată, cu o tensiune negativă, adică $\delta < 0$, conduce la înrăutățirea parametrilor de bază a acestora. Dincontră încărcarea de la o tensiune pozitivă, adică, $\delta > 0$, îmbunătățește indicii energetici ai mașinii.

Din studiile și cercetările experimentale /49;75;77;105/ este

a curentului redresat, care mărește considerabil caracteristicile funcționale de bază - ale circuitului de încărcare, iar în circuitul de curent alternativ o reactanță inductivă X_L , sau reactanță capacitivă X_C , figura 2.5.

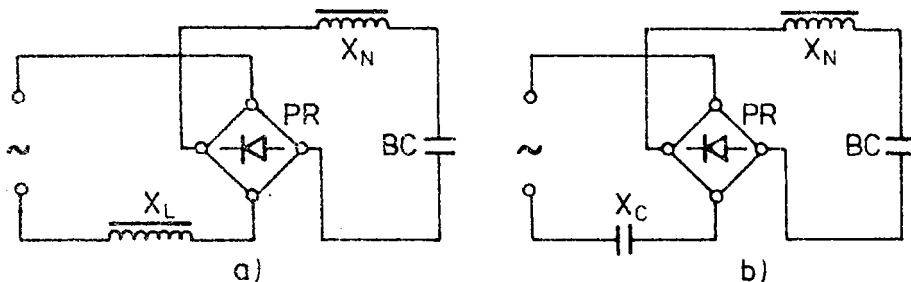


Fig.2.5. Scheme de încărcare monofazate a bateriei de condensatoare BC: a-cu reactanță inductivă X_L în circuitul de c.a.; b-cu reactanță capacitivă X_C în circuitul de c.a.

2.1.2. Scheme trifazate de încărcare a bateriilor de condensatoare.

În schemele trifazate de încărcare a bateriilor de condensatori, nu se mai introduc inductanțe în circuitele de curent redresat, dar rămâne valabil introducerea în circuitele de curent alternativ a unor reactanțe inductive X_L , sau reactanțe capacitive X_C , figura 2.6.

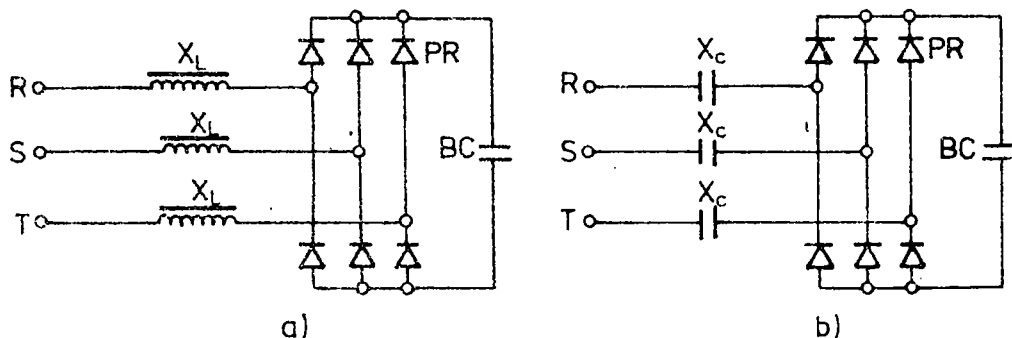


Fig.2.6. Scheme trifazate de încărcare a bateriei de condensatoare BC: a - cu reactanță inductivă X_L în circuitul de c.a.; b - cu reactanță capacitivă X_C în circuitul de c.a.

Din analiza proceselor care se produc în circuitele de încărcare a bateriilor de condensatoare, cu reactanță inductivă pe partea de curent alternativ, valorilor date pentru tensiunea U_C , capacitatea C a bateriei și timpul de încărcare t_{in} le corespund de asemenea combinații precise cu valoarea tensiunii de mers în gol U_{co} a sursei de alimentare și cu valoarea rezistenței R de limitare a curentului de încărcare. Pentru aceste combinații puterile P_c și P_{max} au valoarea minimă. Aceste observații se recomandă a fi luate în considerare la concepția și execuția schemelor de încărcare a bateriilor de condensatoare. În cazul unor baterii de capacități mari, peste 50.000 μF , se folosesc scheme care asigură încărcarea condensatoarelor la un curent constant. Din această categorie fac parte și așa zisele convertoare inductiv-capacitive, figura 2.7.

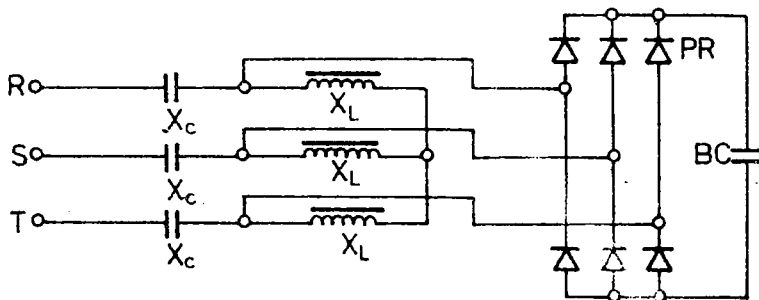


Fig. 2.7. Schema circuitului de încărcare a condensatoarelor cu reactanțe inductive și capacitive în circuitul de c.a.

În prezent, pe plan mondial, au luat o largă răspundere schemele electrice de încărcare a bateriilor de condensatoare, la care drept sursă de tensiune sînt redresoarele montate în punte monofază semicomandată /43/ și studiate în lucrare în continuare.

2.1.3 Scheme monofazate de încărcare a condensatorilor cu redresor semicomandat.

Sursele de tensiune pentru încărcarea bateriilor de condensatoare la mașinile moderne sînt de tipul redresoarelor tri sau monofazate în punte semicomandată, figura 2.8. Bateria de condensatoare BC , se încarcă printr-o rezistență R , a cărei valoare se determină din timpul necesar încărcării, de tipul și caracteristicile condensatoarelor

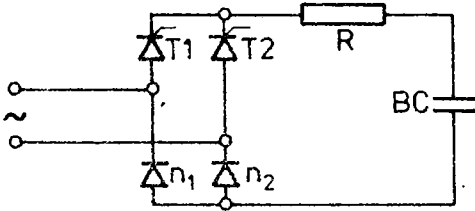


Fig.2.8. Punte redresoare semicomandată utilizată la încărcarea bateriei de condensatoare.

za curenților proprii de descărcare (scurgere) și a curenților de scurgere prin circuitele de măsurătoare /51,61,68,71,75,77/.

Unghiul α de aprindere al tiristoarelor T_1 și T_2 se stabilește "automat" în funcție de tensiunea U_c la care s-a încărcat BC. Astfel, la o tensiune mai mică decât cea dată, unghiul de aprindere α al tiristorilor este constant, iar la un dezacord de cca 1V dintre tensiunea dată și tensiunea pînă la care s-a ajuns pe bateria de condensatoare unghiul α crește brusc și se modifică corespunzător în fiecare semiperioadă a tensiunii redresate, asigurîndu-se astfel o valoare exactă pentru tensiunea U_c .

Cînd mașina funcționează în regim neautomat, timpul de încărcare, t_{in} al bateriei de condensatoare pînă la o tensiune dată este practic determinat de durata încărcării condensatoarelor sub un unghi de aprindere α_{act} . Cu cît unghiul α este mai mic, cu atît mai rapid se desfășoară - procesul de încărcare al bateriei de condensatoare, dar tot practic, unghiul de aprindere al tiristorilor trebuie să fie mai mare decît un α_{min} , dat de relația (2.8) :

$$\sin \alpha_{min} = \frac{U_{CN}}{\sqrt{2} \cdot U_r (1 - \Delta U)} \quad (2.8)$$

unde: α_{min} - unghiul minim de deschidere al tiristoarelor la o tensiune minimă a rețelei;

U_{CN} - tensiunea nominală pînă la care se încarcă BC în [V];

Utilizarea acestor scheme de încărcare într-un sistem automat, permite să se obțină o valoare stabilizată a tensiunii la bateria de condensatoare BC, care nu mai depinde de fluctuațiile tensiunii rețelei, nici de timpul de dare a comenzii de descărcare a BC și momentul atingerii pe ea a tensiunii stabilite, întrucît în acest timp tensiunea de pe BC se micșorează din cau-

U_r - tensiunea nominală a rețelei, în [V];

ΔU - abaterea admisibilă a tensiunii rețelei în [%].

Dacă unghiul $\alpha > \alpha_{\min}$, bateria de condensatoare nu se va putea încărca la U_{CN} , deoarece tensiunea de pe ea poate deveni mai mare decât valoarea momentană a tensiunii rețelei în momentul când se dă - impulsul de aprindere pe tiristor, neputînd intra în conducție el va rămîne blocat (rezultă pe tiristor o tensiune inversă). Practic, la mașinile de sudat cu energie înmagazinată în condensatoare, pentru un unghi de aprindere constant acesta este în majoritatea cazurilor: $\alpha = 67^\circ$.

Condensatoarele folosite pentru acumularea energiei la modelul experimental MSC-2700, sînt de tipul EG-2471 cu tensiunea nominală de 350V la 200 μ F. La aceste condensatoare, ca de fapt la toate condensatoarele electrolitice se aplică - restricții privind amplitudinea curentului de încărcare și numărul de cicluri pe minut (încărcare-descărcare-reîncărcare)(capitolul 3 din lucrarea prezentă).

Experimental s-a constatat că numărul de cicluri pe minut trebuie să fie de maximum 30 /77/. Această condiție este posibil de respectat, dacă și numai dacă - rezistența R din circuitul de încărcare este calculată corect și de valoarea acestei rezistențe depinde de fapt randamentul, respectiv siguranța în funcționare a mașinii.

O altă constatare făcută în procesul de încărcare a condensatorilor de la un redresor este aceea că încărcarea are un caracter intermitent în procesul căreia se modifică atât curentul cît și durata impulsului de încărcare. Pentru stabilirea și calculul parametrilor circuitului de încărcare s-a utilizat metoda propusă de I.V.Pentegovim, considerîndu-se redresorul necomandat, /48/. În esență metoda constă în înlocuirea curbei reale de încărcare cu o curbă progresiv mediată, care se intersectează cu cea reală în originea fiecărei alternante (semiperioade) efective a tensiunii rețelei. Ecuația acestei curbe omogenizate și în formă adimensională este dată de relația (2.9) :

$$t_{in}^* = RC \cdot t_{in} = \frac{\pi}{\omega RC} \int_{\frac{U_{CO}}{U_m}}^{\frac{U_{CN}}{U_m}} \frac{d\left(\frac{U_c}{U_m}\right)}{\frac{\Delta U_c}{U_m}} = \frac{\pi}{\omega RC} \int_{\psi_0}^{\psi_N} \frac{d\psi}{\Delta\psi} \quad (2.9)$$

unde: t_{in} - timpul de încărcare de la U_{co} la U_{CN} , pe care trebuie să-l asigure circuitul de încărcare ;

t_{in}^* - aceeași semnificație ca t_{in} , dar în unități relative;

C - capacitatea BC în [F];

ω - frecvența unghiulară a rețelei în [rad/sec] ;

U_{co} - tensiunea inițială pe RC în [V] ;

U_{CN} - tensiunea nominală de încărcare a BC în [V] ;

U_m - amplitudinea tensiunii rețelei în [V] ;

U_c - variația tensiunii pe BC în intervalul $\Delta t = \frac{\pi}{\omega}$;

φ = arc sin U_c/U_m - unghiul de defazaj al momentului de modificare a structurii schemei la sfârșitul impulsului curentului de încărcare .

Pentru $U_c = U_{CH}$, rezultă $\varphi = \varphi_N$ și pentru $U_c = U_{co}$, rezultă $\varphi = \varphi_0$;

$\Delta\varphi$ - creșterea unghiului φ când tensiunea BC crește cu mărimea ΔU_c .

Procesul de încărcare a condensatoarelor pentru schema din figura 2.8, într-o semiperioadă oarecare, se desfășoară după diagramele prezentate în figura 2.9. cu următoarele condiții : tiristoarele și diodele sînt considerate ideale, adică- comutarea se face instantaneu, rezistența de scurgere a condensatorilor este infinit de mare și tensiunea rețelei variază sinusoidal.

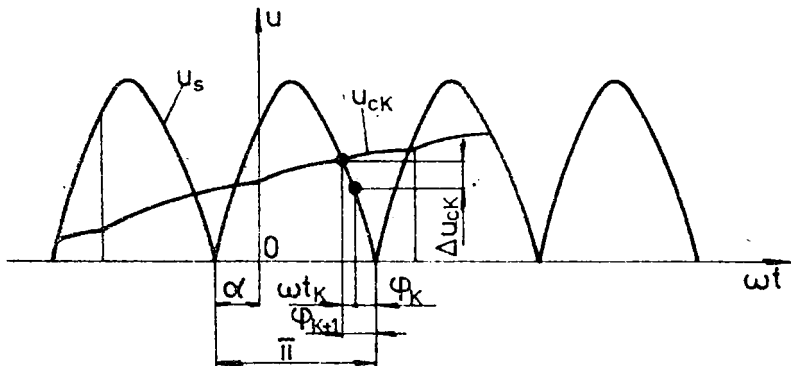


Fig.2.9. Incărcarea bateriei de condensatori în semiperioada "n":

$u_s = U_{sm} \cdot \sin(\omega t + \varphi)$ - tensiunea rețelei; U_m - tensiunea de încărcare a BC.

Incărcarea condensatoarelor începe în fiecare semiperioadă, odată cu deschiderea tiristorului la un unghi constant α , independent de numărul alternanțelor și se încheie în semiperioada "K" când

tensiunea momentană a rețelei va deveni egală cu tensiunea de pe condensator. Timpul de încărcare în semiperioada "K" este dat de relația (2.10).

$$t_{inK} = \frac{\pi - \alpha - \varphi_{k+1}}{\omega} \quad (2.10)$$

unde:

$$\sin \varphi_{k+1} = \frac{U_{ck}}{U_m}$$

U_{ck} - tensiunea nominală la care se încarcă condensatoarele în semiperioada "K".

Pe intervalul ; $0 - t_k$ și pentru circuitul de încărcare prezentat în figura 2.9, cu $L = 0$, în semiperioada "K" se poate scrie ecuația acestui circuit :

$$U_c(t)_k + R.C \frac{dU_c(t)_k}{dt} = U_{sm} \cdot \sin(\omega t + \varphi) \quad (2.11)$$

Forma operațională a relației (2.11) este :

$$U_c(p)_k = \frac{U_{sm}}{R.C} \frac{p^2 \cdot \sin \alpha + \text{cup.} \cos \alpha}{(p^2 + \omega^2) \left(\frac{1}{RC} + p \right)} + U_c(o)_k \frac{p}{p + \frac{1}{RC}} \quad (2.12)$$

unde:

$U_c(o)_k = U_{sm} \cdot \sin \varphi_n$ - tensiunea pe condensator înaintea semiperioadei "K"

$U_c(p)_k$ - tensiunea pe condensator în semiperioada "K".

Trecîndu-se la forma inițială a ecuației rezultă :

$$U_c(t) = \frac{U_{sm}}{1 + \beta^2} \left[\sin(\omega t + \alpha) - \beta \cdot \cos(\omega t + \alpha) - (\beta \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) \cdot e^{-\frac{\omega t}{\beta}} + (1 + \beta^2) \cdot \sin \varphi_n \cdot e^{-\frac{\omega t}{\beta}} \right] \quad (2.13)$$

unde :

$$\beta = \omega RC$$

În cazul cînd mașinile sînt echipate cu condensatoare electrolice, raportul $\frac{RC}{2f} > 1$ și valoarea unghiului φ în oricare semiperioadă este mică și se poate exprima prin :

$$\varphi_{k+1} = \varphi_k + \Delta \varphi_k \quad (2.14)$$

Abaterea $\Delta \varphi_k$ se determină din ecuația curentului de încărcare a condensatoarelor care se obține din derivata tensiunii U_{ck} de pe

bateria de condensatoare în semiperioada respectivă, relația (2.15):

$$i(t)_k = C \frac{dU_{ck}}{dt} = \frac{\omega \cdot C \cdot U_{sm}}{1 + \beta^2} \cos(\omega t + \alpha) + \beta \cdot \sin(\omega t + \alpha) - \frac{1}{\beta} \cdot (\beta \cdot \cos \alpha - \sin \alpha) + \sin \varphi_k + \beta^2 \cdot \sin \varphi_k \cdot C \cdot \frac{t}{\beta} \quad (2.15)$$

Punând condiția ca la momentul $t = t_k$ curentul este zero ($i=0$) și considerînd $\sin \Delta \varphi_k = \Delta \varphi_k$, $\cos \Delta \varphi_k = 1$ și $e^{\frac{\Delta \varphi_n}{2}} \approx$

$\frac{\beta + \Delta \varphi_n}{\beta}$ deoarece $\Delta \varphi_k$ este foarte mic, iar unghiul $\varphi_{k+1} = \varphi_k + \Delta \varphi_k$, rezultă abaterea $\Delta \varphi_k$:

$$\Delta \varphi_k = \frac{\cos \varphi_k - \beta \cdot \sin \varphi_k + \cos \alpha - \frac{\sin \alpha \sin \varphi_k}{\beta} + \frac{\sin \varphi_k}{\beta} + \sin \varphi_k}{\frac{\sin \varphi_k + \cos \varphi_k - \frac{1}{\beta} \cos \alpha - \frac{1}{\beta^2} \sin \alpha + \frac{1}{\beta^2} \sin \varphi_k + \sin \varphi_k} \cdot \frac{e^{-\frac{\pi - \alpha + \varphi_k}{\beta}}}{e^{-\frac{\pi - \alpha - \varphi_k}{\beta}}} \quad (2.16)$$

Substituind relația (2.16) în ecuația (2.9) și trecîndu-se la $\Delta \varphi$ și φ - variabile continue, se determină ecuația curbei mediate a procesului de încărcare a bateriei de condensatoare BC în unități relative și formă parametrică de înregistrare:

$$t_{in}^* = \pi \int_{\varphi_0}^{\varphi_N} \frac{\sin \varphi + \cos \varphi \left[\frac{1}{\beta} \cos \alpha - \frac{1}{\beta^2} \sin \alpha + \frac{1 + \beta^2}{\beta^2} \sin \varphi \right] e^{-\frac{\pi - \varphi - \alpha}{\beta}}}{\beta \cos \varphi - \beta^2 \sin \varphi + \beta \left(\cos \alpha - \frac{\sin \alpha}{\beta} + \frac{\sin \varphi}{\beta} + \beta \sin \varphi \right) e^{-\frac{\pi - \varphi - \alpha}{\beta}}} d\varphi \quad (2.17)$$

și $\frac{U_c}{U_{sm}} = \sin \varphi_N$; $\frac{U_{co}}{U_{sm}} = \sin \varphi_0$ (2.18)

Deoarece timpul t_{in}^* pentru $\beta = 1$ și t_{in}^* pentru $\beta \rightarrow \infty$, diferă cu cel mult 5% unul de celălalt /75/, în lucrările ^{calculare} sint elaborate pentru $\beta = \infty$. Mai mult, s-a constatat practic că $\beta = \omega RC$ are valori obișnuite între 15...20 și de aceea pentru simplificarea ca' ulului $t_{in}^* = (U_c/U_{sm})$, acesta se va face în ipoteza menționată, atunci cînd condensatoarele se încarcă de la valoarea zero

a tensiunii, la valoarea U_{GH} . Toate concluziile și graficile sînt valabile pentru 11.

$$t_{in}^* \Big|_{\beta \rightarrow \infty} = \pi \int_0^{\varphi_N} \frac{\cos \varphi \cdot d\varphi}{\cos \varphi - \sin(\bar{\pi} - \alpha - \varphi) + \cos \varphi} \quad (2.19)$$

Dacă în relația (2.19) se fac înlocuirile : $\varphi = \arcsin U_c^*$ și se stabilesc limitele integrării, respectiv se descompun în serie; $1 - U_i^{*2}$ și $\arcsin U_c^*$, acesta devine :

$$t_{in}^* = \int_0^{\frac{U_{CN}}{U_{sm}}} \frac{dU_c^*}{\frac{1}{2} U_c^{*2} + U_c^* (\alpha - \bar{\pi}) + (1 + \cos \alpha)} \quad (2.20)$$

unde: $U_c^* = \frac{U_c}{U_{sm}}$, iar după integrare rezultă relația (2.21);

$$t_{in}^* = \frac{t_{in}}{R.C} = \frac{\bar{\pi}}{\Delta} \ln \left[\frac{\frac{U_{CN}}{U_{sm}} + (\alpha - \bar{\pi}) - \Delta}{\frac{U_{CN}}{U_{sm}} + (\alpha - \bar{\pi}) + \Delta} \cdot \frac{(\alpha - \bar{\pi}) + \Delta}{(\alpha - \bar{\pi}) - \Delta} \right] \quad (2.21)$$

unde: $\Delta = \sqrt{(\alpha - \bar{\pi})^2 - 2(1 + \cos \alpha)}$

În cazul cînd încărcarea bateriei de condensatoare începe de la o tensiune inițială oarecare U_{co} , relația (2.21) devine :

$$t_{in}^* = \frac{t_{in}}{R.C} = \frac{\bar{\pi}}{\Delta} \ln \left[\frac{\frac{U_{CN}}{U_{sm}} + (\alpha - \bar{\pi}) - \Delta}{\frac{U_{CN}}{U_{sm}} + (\alpha - \bar{\pi}) + \Delta} \cdot \frac{\frac{U_{co}}{U_{sm}} + (\alpha - \bar{\pi}) + \Delta}{\frac{U_{co}}{U_{sm}} + (\alpha - \bar{\pi}) - \Delta} \right] \quad (2.22)$$

Variația raportului $t_{in}/R.C$, funcție de raportul U_c/U_{sm} , avînd ca parametru unghiul cuprins între 45 și 75 grade este arătată în figura 2.22.

Graficul din figura 2.10, împreună cu relațiile (2.20); (2.21) și (2.22), sînt utilizate la stabilirea pe cale grafoanalitică a parametrilor circuitelor de încărcare a bateriilor de condensatoare de la mașinile de sudat prin presiune cu energia înmagazinată în câmp electrostatic, în următoarele variante :

a - cunoscîndu-se timpul de încărcare a condensatoarelor

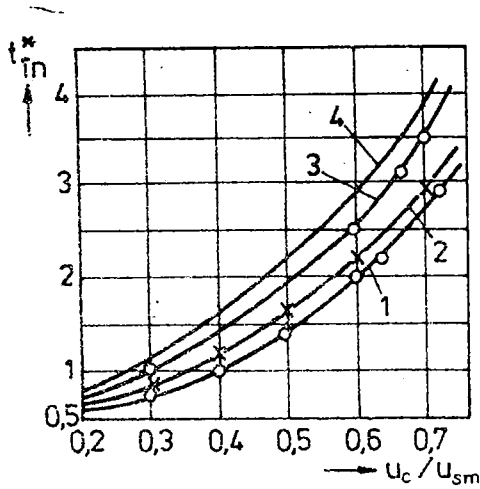


Fig.2.10.Graficul de variație $t_{in}^* = f(U_c/U_{sm})$: 1- $\alpha = 45^\circ$; 2- $\alpha = 55^\circ$; 3- $\alpha = 65^\circ$; 4- $\alpha = 75^\circ$.

t_{in}^* , raportul tensiunilor U_c/U_{sm} , capacitatea C a bateriei de condensatoare și unghiul α de deschidere al tiristorilor, se poate determina rezistența R de limitare a curentului de încărcare în așa fel încît procesul să fie cel optim.

b - cunoscîndu-se constanta de timp $T=R.C$ a circuitului de încărcare, unghiul α de deschidere al tiristorilor și raportul tensiunilor U_c/U_{sm} , se poate determina timpul de încărcare t_{in}^* a bateriei de condensatoare;

c - graficul $t_{in}^* = f(U_c/U_{sm})$ se poate folosi, fie la proiectarea unor noi tipuri de mașini pentru sudarea prin presiune cu energie înmagazinată în condensatoare - situația din lucrarea prezentă, fie pentru determinarea timpului de încărcare t_{in}^* la mașinile existente;

d - Pentru modelul MSC-2700 conceput și executat după metodologia prezentată la punctul a, din acest paragraf, parametrii circuitului de încărcare sînt dați în tabelul 2.1., și vor fi utilizați la stabilirea circuitului de încărcare în capitolul 3.

Tabelul 2.1.

t_{in}^* [s]	U_c/U_{sm}	C [μF]	α [grade]	t_{in}^* din graficul 2.10	R [Ω]
1,0	0,707	100.000	67	3,6	6,06

2.2. Optimizarea procesului de descărcare al bateriilor de condensatoare prin transformatorul de sudare

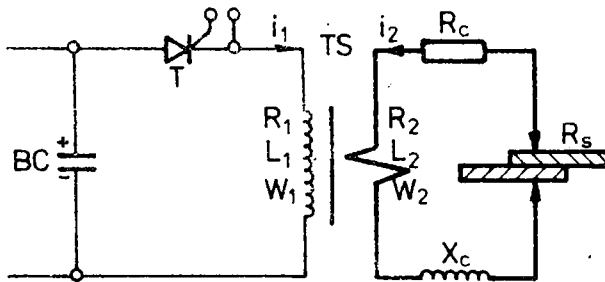
Descărcarea bateriei de condensatoare se face prin transformatorul de sudare considerat ideal și al cărui parametrii,

în speță inductivitatea primară L_1 și secundară L_2 , respectiv inductivitatea mutuală M sînt mărimi constante, adică nu depind de tensiunile magnetomotoare și de variația acestora.

Studiul procesului de descărcare a bateriei de condensatoare, a fost abordat în lucrare atît pentru schemele reale, cît și pentru cele echivalente.

2.2.1. Procesul de descărcare al bateriei de condensatoare în cazul circuitelor reale.

Schema circuitului de descărcare a bateriei de condensatoare prin transformatorul de sudare, în cazul cînd circuitele sînt considerate cele reale, este prezentată în figura 2.11.



În schemă se înțelege prin R_1, L_1 -rezistența, inductivitatea circuitului de descărcare, inclusiv înfășurarea primară a transformatorului TS, iar prin $R_t = R_c + R_2 + R_s$, $L_t = L_c + L_2 + L_s$ -rezistența și, inductivitatea totală a secundarului TS,

Fig.2.11. Schema circuitului de descărcare a bateriei de condensatoare prin transformatorul de sudare TS. și al pieselor, respectiv prin N_1, N_2 - numărul de spire primare și secundare. Cu notațiile stabilite, procesul de descărcare a BC este descris de ecuațiile (2.23) și (2.24).

$$U_c(0) - \frac{1}{C} \int_0^t i_1 \cdot dt + L \left(\frac{di_1}{dt} + M \frac{di_2}{dt} \right) + i_1 \cdot R_1 = 0 \quad (2.23)$$

$$\text{și} \quad L_t \frac{di_2}{dt} + M \frac{di_1}{dt} + i_2 \cdot R_t = 0 \quad (2.24)$$

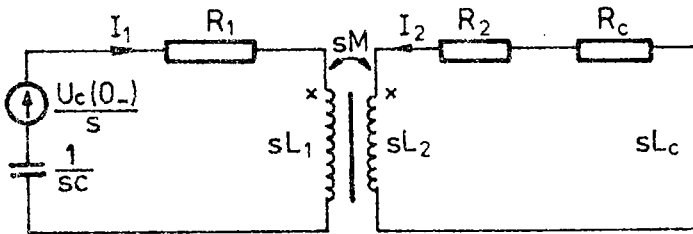
Rezolvarea ecuațiilor (2.23) și (2.24), în speță pentru aflarea variației în timp a curentului $i_2(t)$, figura 2.11, autorul a folosit în lucrare metoda operațională /23,24/. Schema în operațional a circuitului prezentat în figura 2.11 este arătată în figura 2.12, pentru care se vor scrie ecuațiile (2.25) și (2.26).

$$\frac{U_c(0-)}{s} = (R_1 + s.L_1 + \frac{1}{sC}) I_1 - s.M.I_2 \quad (2.25)$$

$$0 = s.M.I_1 + [R_2 + R_c + s(L_2 + L_c)] I_2 \quad (2.26)$$

din cele două relații (2.25) și (2.26) rezultă pentru curentul din secundar relația (2.27):

$$I_2 = - \frac{s.C.M.U_c(0-)}{s^3.C(-M^2+L_1.L_t) + s^2.C(R_t.L_1+R_1.L_t) + s(L_t+R_1.R_t.C) + R_t} \quad (2.27)$$



In relația (2.27) s-au făcut notațiile: $R_t = R_2 + R_c$ și $L_t = L_2 + L_c$. Acceptîndu-se pentru inductivitățile L_1 și L_2 cuplaj magnetic perfect, expresie (2.27) devine:

Fig.2.12. Schema operațională a circuitului de descărcare

$$I_2 = - \frac{sCM U_c(0-)}{s^3.C.L_1.L_t + s^2.C(R_t.L_1 + R_1.L_t) + s(L_t + R_1.R_t.C) + R_t} \quad (2.28)$$

Folosindu-se relația lui Hevisaid, expresia curentului secundar în regim tranzitoriu $i_2(t)$, este :

$$i_2(t) = - \sum_{k=1}^3 \frac{s_k.C.M.U_c(0-)}{3s_k^2.C(L_1.t_t - M^2) + 2.s_k.C(R_t.L_1 + R_1.L_t) + L_t + R_1.R_t.C} e^{s_k.t} \quad (2.29)$$

unde:

s_k reprezintă soluțiile polinomului de la numitorul relației (2.29).

Din relația (2.28), pentru curentul secundar $i_2(t)$ se obține expresia: (2.30):

$$i_2(t) = - \sum_{k=1}^3 \frac{s_k.C.M.U_c(0-)}{3.s_k^2.C.L_t.L_1 + 2.s_k.C(R_t.L_1 + R_1.L_t) + L_t + R_1.R_t.C} e^{s_k.t} \quad (2.30)$$

în care s_k reprezintă soluțiile polinomului de la numitorul expresiei (2.30). Pentru determinarea valorilor s_k , polinomul de la numitorul relației (2.27) se poate scrie sub forma :

$$s^3 + s^2 \cdot \frac{R_1 \cdot L_t + R_t \cdot L_1}{L_1 \cdot L_t - M^2} + s \cdot \frac{L_t + R_1 \cdot R_t \cdot C}{C(L_1 \cdot L_t - M^2)} + \frac{R_t}{C(L_1 \cdot L_t - M^2)} = 0 \quad (2.31)$$

Dacă în relația (2.31) se face schimbarea de variabilă, $s=a/3$, se obține o ecuație de forma celei date de relația (2.32):

$$s^3 + ps + q = 0 \quad (2.32)$$

unde s-au făcut notațiile :

$$a = \frac{R_1 \cdot L_t + R_t \cdot L_1}{L_1 \cdot L_t - M^2} ; b = \frac{L_t + R_1 \cdot R_t \cdot C}{C(L_1 \cdot L_t - M^2)} ; c = \frac{R_t}{C(L_1 \cdot L_t - M^2)} \quad (2.33)$$

și :

$$p = b - \frac{a^2}{3} , \quad q = c + \frac{2a^3}{27} - \frac{ab}{3} \quad (2.34)$$

Soluțiile ecuației (2.32) se determină cu relația (2.35) :

$$s = \sqrt[3]{-\frac{q}{2} + \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} + \sqrt[3]{-\frac{q}{2} - \sqrt{\frac{q^2}{4} + \frac{p^3}{27}}} \quad (2.35)$$

În procesul de descărcare a condensatoarelor prin transformatorul de sudare, se urmărește ca valoarea curentului $i_2(t)$ să ajungă la zero într-un timp foarte scurt, fenomen ce se obține numai atunci când toate soluțiile ecuației (2.35) sînt reale, iar două să fie egale. Această condiție implică, ca parametrii circuitului să satisfacă relația (2.36) în care s-a avut în vedere că $L_1 \cdot L_t - M^2 \neq 0$;

$$\frac{1}{27} \left[R_1 \cdot R_t + \frac{L_t}{C} - \frac{1}{3} \cdot \frac{(R_1 \cdot L_t + R_t \cdot L_1)^2}{L_1 \cdot L_t - M^2} \right]^3 + \frac{1}{4} \left[\frac{R_t}{C} - \frac{R_1 \cdot L_t + R_t \cdot L_1}{3} \cdot \frac{R_1 \cdot R_t + \frac{L_t}{C}}{L_1 \cdot L_t - M^2} + \frac{2}{27} \frac{(R_1 \cdot L_t + R_t \cdot L_1)^3}{(L_1 \cdot L_t - M^2)^2} \right]^2 = 0 \quad (2.36)$$

Admițîndu-se ca satisfăcută relația (2.36), fenomen posibil, deoarece capacitatea bateriei de condensatoare poate fi modificată în concordanță cu corelațiile cerute și cu natura, respectiv grosimea pieselor ce se sudează, relațiile ecuației (2.31) sînt :

$$s_1 = \frac{\frac{9R_t}{C} - 2 \frac{(R_1 L_t + R_t L_1)(L_t + R_1 R_t + C)}{C(L_1 L_t - M^2)} + \frac{1}{3} \frac{(R_1 L_t + L_1 R_t)^3}{(L_1 L_t - M^2)^2}}{3 \frac{L_t}{C} + 3R_1 R_t - \frac{(R_1 L_t + R_t L_1)^2}{L_1 L_t - M^2}} \quad (2,37)$$

$$s_2 = \frac{\frac{9R_t}{C} - 5 \frac{(R_1 L_t + R_t L_1)(L_t + R_1 R_t + C)}{C(L_1 L_t - M^2)} + \frac{4}{3} \frac{(R_1 L_t + L_1 R_t)^3}{(L_1 L_t - M^2)^2}}{3 \frac{L_t}{C} + 3R_1 R_t - \frac{(R_1 L_t + R_t L_1)^2}{L_1 L_t - M^2}} \quad (2,38)$$

În aceste condiții curentul $i_2(t)$ este dat de relația (2.39):

$$i_2(t) = - \frac{s_1 \cdot C \cdot M \cdot U_c(0-)}{3 \cdot s_1^2 \cdot C(L_1 \cdot L_t - M^2) + 2 \cdot s_1 \cdot C(R_t \cdot L_1 + R_1 \cdot L_t) + L_t + R_1 \cdot R_t \cdot C} \cdot e^{s_1 \cdot t} - 2 \frac{s_2 \cdot C \cdot M \cdot U_c(0-)}{3 \cdot s_2^2 \cdot C(L_1 \cdot L_t - M^2) + 2 \cdot s_2 \cdot C(R_t \cdot L_1 + R_1 \cdot L_t) + L_t + R_1 \cdot R_t \cdot C} \cdot e^{s_2 \cdot t} \quad (2.39)$$

Relația (2.39) permite trasarea grafică a dependenței curentului secundar de timp, pentru diverse valori a parametrilor schemei prezentată în figura 2.11, problemă rezolvată în capitolul 5

Oscilografându-se procesul de descărcare a bateriei de condensatoare, în cazul unui regim periodic amortizat și utilizându-se schema din figura 2.11, s-a obținut pentru curentul i_1 și curentul i_2 , curbele din figura 2.13. Se observă că descărcarea periodică amortizată devine după prima semiperioadă aperiodică, deoarece circuitul de descărcare (primar) este întrerupt de tiristorul T. Însă în limitele primei semiperioade procesul de descărcare prin ecuațiile: (2.30)...(2.39), pentru un sistem liniar. Se observă că durata primei semiperioade a curentului primar i_1 , este cu ceva mai mare decât durata curentului secundar i_2 , iar amplitudinea curentului secundar este întotdeauna mai mică decât amplitudinea curentului primar, conform relației (2.40)

$$i_{10} = i_1 + i_2' \quad (2.40)$$

unde:

i_2' - curentul secundar redus la circuitul primar.

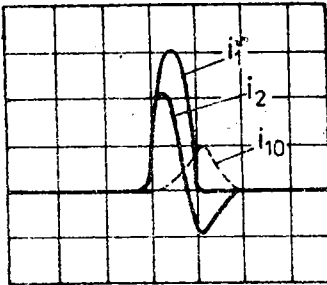


Fig.2.13.Oscilogrammele curenților i_1 și i_2 respectiv a componentei de magnetizare i_{10} , traseate la aceeași scară.

* Din relația (2.40) și din oscilogrammele prezentate în figura 2.13 se desprinde o concluzie foarte importantă, de care trebuie să se țină seama la concepția și execuția mașinilor de sudat prin presiune cu energie înmagazinată.

Această concluzie urmărește să se mărească eficiența energiei acumulate în condensatoare, prin micșorarea componentei de magnetizare a curentului primar, deci conceperea și execuția unui transformator de sudare cu parametrii optimi.

Prin eficiență de utilizare a energiei din condensatoare, trebuie să se înțeleagă în primul rând, puterea ce se dezvoltă în rezistența de contact dintre piesele ce se sudează și apoi randamentul descărcării. Luându-se măsuri constructive pentru reducerea componentei i_{10} de magnetizare a TS, atunci și studiul procesului tranzitoriu se simplifică considerabil, deoarece secundarul acestuia poate fi considerat în schema echivalentă, înlocuit în circuitul de descărcare /48,49,51,61,71,75/.

2.2.2. Influența schemei de descărcare asupra formei curentului de sudare.

Schema electrică de descărcare influențează hotărâtor caracterul și forma impulsului de sudare. În lucrare s-au studiat mai multe variante de scheme, iar pentru modelul experimental MSC-2700 s-a adoptat varianta prezentată în figura 2.15.b.

Prima variantă luată în studiu este prezentată în figura 2.14.a. Se observă că înfășurarea primară a transformatorului de sudare este "suntată" cu o diodă n_1 , montată ca în figură. În acest fel, procesul periodic amortizat a impulsului de descărcare se

înlocuiește cu un proces aperiodic, figura 2.13.b., la momentul t_1 când de fapt tensiunea U_c pe bateria de condensatoare tinde să-și schimbe sensul.

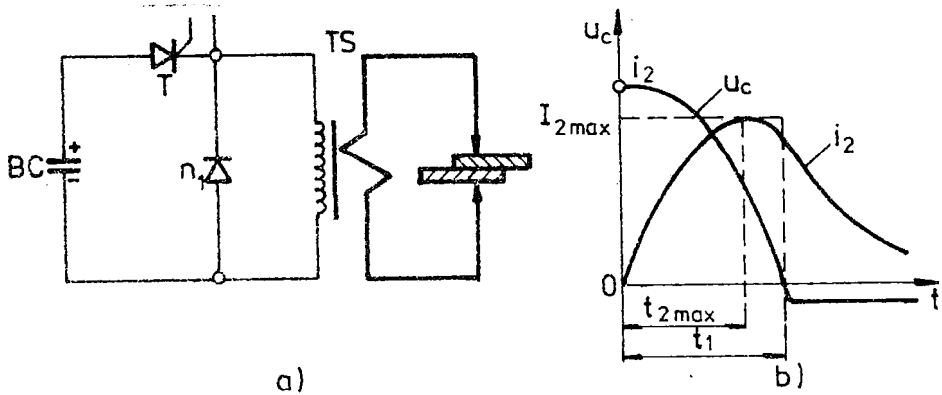


Fig.2.14. Modelarea impulsului de descărcare prin scurtarea TS cu o diodă n_1 : a - schema electrică de principiu ; b - variația în timp a tensiunii și curentului.

În comparație cu schemele de descărcare numai prin tiristoare, sau igitroane, cea din figura 2.14 prezintă următoarele avantaje:

- a - bateria de condensatoare BC nu se reîncarcă după realizarea sudurii;
- b - timpul de încălzire este mai redus.

Pentru a se evita împrăștierea de metal topit din zona de sudare, este indicat și în același timp util "nivelarea" suprafețelor de contact cu un impuls de mică putere, iar după aceea să se realizeze sudarea. Prin acest impuls se face o încălzire prealabilă, respectiv se reduc rezistențele "tranzitorii" de contact dintre piese, micșorându-se mult posibilitatea supraîncălzirii locale a metalului ce se sudează.

Încălzirea prealabilă a zonei de sudare poate fi realizată prin următoarele metode :

- încălzirea zonei prin intermediul curentului de încărcare, figura 2.15.a;
- încălzirea cu ajutorul unei baterii de condensatoare, figura 2.15.b;
- încălzirea prin conectarea de scurtă durată a transformatorului de sudare în circuitul curentului alternativ, un timp de una sau mai multe semiperioade, figura 2.15.c.

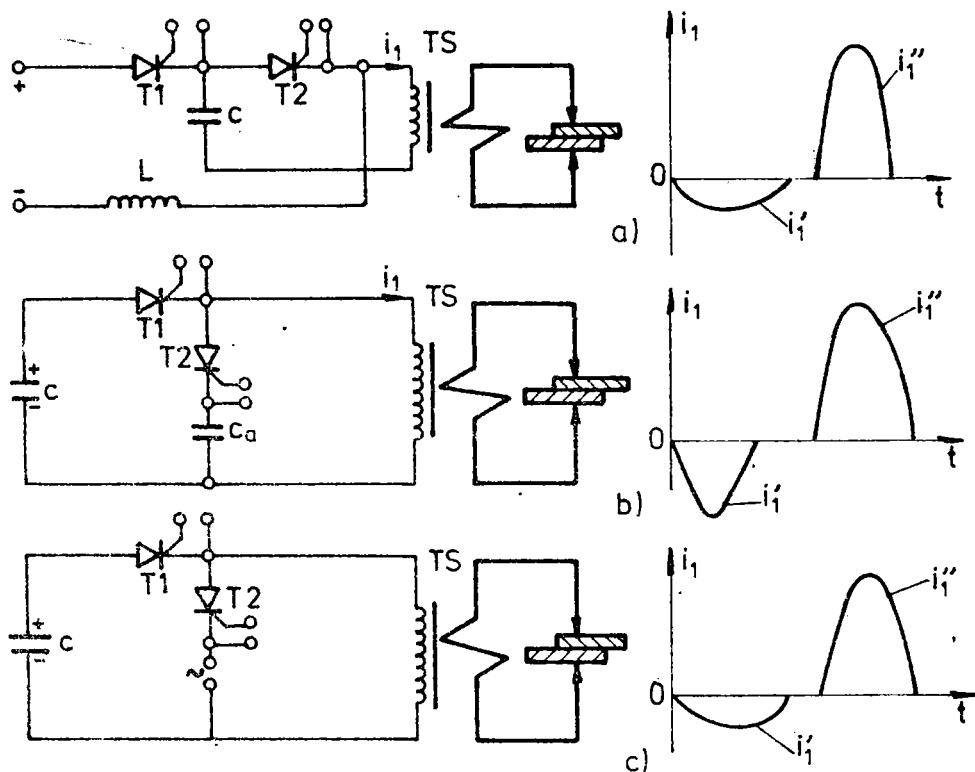


Fig. 2.15. Schemele electrice și ciclurile curentului de descărcare, care asigură încălzirea prealabilă a zonei de sudare : i_1' - impuls pentru preîncălzire; i_1'' - impuls pentru sudare.

Pentru a reduce panta de creștere a impulsului de descărcare trebuie să crească capacitatea C a condensatoarelor /49/. Nu întotdeauna această măsură este posibilă și eficace, de aceea s-au construit scheme electrice care dau posibilitatea reglării impulsului de curent, figura 2.16.

Cea mai simplă metodă prezentată în, figura 2.16.a, constă în introducerea în circuitul de descărcare a unei bobine reactive cu miez de fier, realizat cu un mic întrefier " δ ". La început când miezul bobinei este nesaturat, viteza de creștere a curentului este mică, curba 2. După saturația miezului se schimbă viteza de creștere (pantă) a curentului, curba 1, în fig.2.16.a.

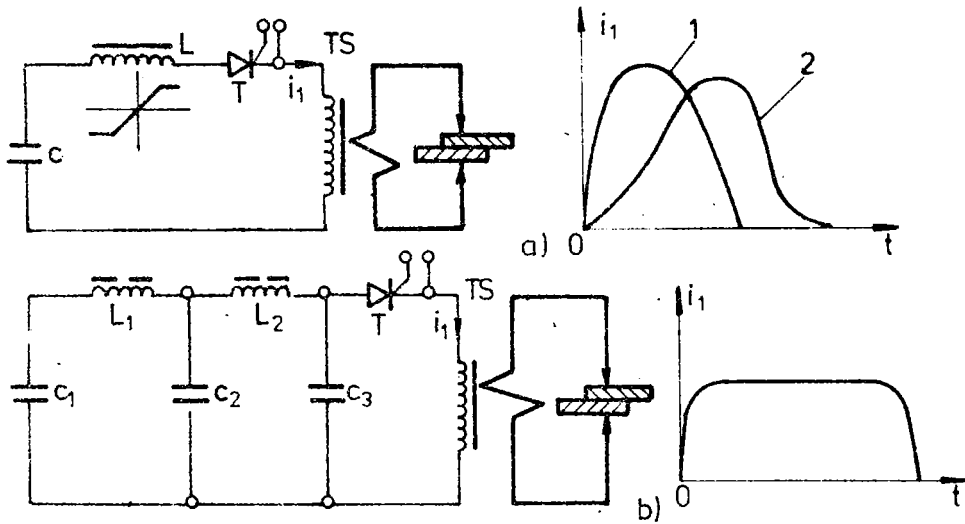


Fig.2.16. Schema de modificare a impulsului de descărcare :
a - cu inductivitatea L înseriată cu bateria de condensatori ; b - conectarea în lanț a unei serii de capacități și inductivități; 1-fără inductivitate; 2-cu inductivitate.

Dacă din rațiuni tehnologice se cere ca forma curentului de descărcare să fie aproape de cea dreptunghiulară, se recomandă schema electrică prezentată în figura 2.16.b.

CAPITOLUL 3

MODEL EXPERIMENTAL PENTRU SUDAREA PRIN PRESIUNE IN PUNCTE CU ENERGIE INMAGAZINATA IN CONDENSATOARE MSC-2700

Pentru realizarea programului de experimentări privind sudarea în puncte cu energie înmagazinată în condensatoare a tablelor sub 1,0 mm grosime, din aluminiu, cupru, sau oțel inoxidabil, precum și în vederea obținerii unui regim optim de descărcare a bateriei de condensatoare, s-a executat în cadrul atelierului catedrei de UTSDT de la facultatea de Mecanică din IPTV-Timișoara, un model experimental de sudat prin presiune în puncte cu energie înmagazinată având o capacitate de 100.000 μF , la o tensiune maximă de încărcare 300 V. Modelul experimental este simbolizat prin indicativul MSC-2700, (mașină de sudat cu energie înmagazinată în condensatoare de 2700 joule), iar detaliile cu caracter constructiv și de execuție sînt prezentate în acest capitol.

3.1. Studiul schemei bloc a modelului MSC-2700

Modelul experimental de sudat prin presiune cu energie înmagazinată în câmp electrostatic tip MSC-2700 este cu descărcare prin transformatorul de sudare și se compune din mai multe blocuri funcționale prezentate în, figura 3.1.

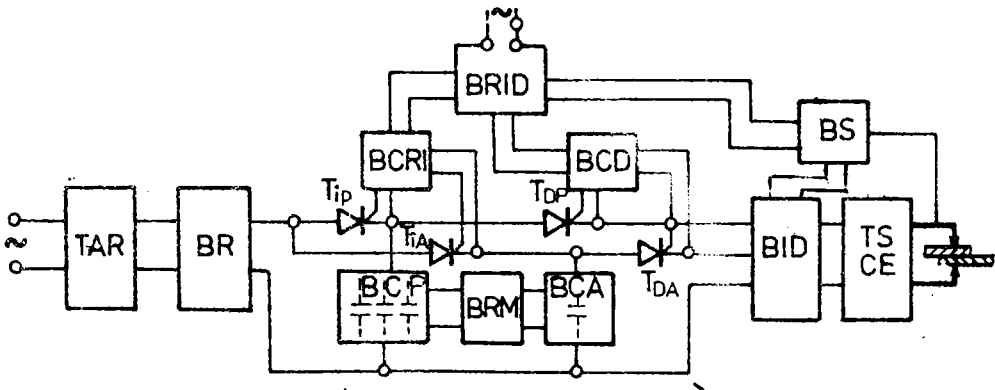


Fig. 3.1. Schema bloc a modelului experimental MSC-2700.

Modelul experimental MSC-2700 este racordat la rețeaua electrică de 220 V, 50 Hz, printr-un transformator TART cu prize, permițând reglarea tensiunii în trepte de la 200 la 300 V. Blocul BR, asigură redresarea tensiunii secundare a transformatorului TART, cu care se încarcă bateriile de condensatoare BCP, principală și BCA, auxiliară prin tiristoarele de încărcare T_{1P} și T_{1A} . Descărcarea condensatoarelor BCP și BCA - prin transformatorul de sudare TS, se face instantaneu, dar de-a falcăt în timp, prin tiristoarele de descărcare T_{DP} și T_{DA} , după ce în prealabil blocul BS a realizat strângerea pieselor la o forță reg lată și stabilită prin tehnologia de sudare.

Blocurile funcționale ale modelului MSC-2700, asigură pe lângă încărcarea-descărcarea bateriilor de condensatoare, controlul și reglarea energiei acumulate în aceste baterii prin blocul de măsurare-reglare BRM. Incărcarea bateriilor de condensatoare se poate realiza simultan, sau succesiv, funcție de schema de încărcare, iar descărcarea acestora trebuie făcută prin defalcarea în timp a celor două impulsuri, astfel încât să fie posibil obținerea mai multor forme ale ciclului de sudare. Aceste operații, corelate cu sistemul de strângere al electrozilor sînt asigurate de blocurile electronice BCRI, BCD și BRID, cu următoarele funcții :

- BCRI - asigură controlul și reglarea încărcării bateriilor de condensatoare BCP și BCA ;
- BCD - asigură controlul descărcării bateriilor de condensatoare;
- BRID - realizează interblocările între primele două blocuri.

Modelul experimental a fost conceput să funcționeze cu descărcare inversă a impulsului de preîncălzire prin transformatorul de sudare, față de impulsul de bază, dat de bateria de condensatoare principală BCP. Această funcționare este asigurată prin blocul de contactoare BID. Blocurile menționate, au fost concepute și realizate în totalitate la catedra UTS de la Facultatea de Mecanică din IPTVT și sînt prezentate în acest capitol din teză.

3.1.1. Transformatorul TART. Realizează legătura între rețeaua de alimentare și blocul redresor BR. Miezu magnetic al transformatorului TART, este de tip coloană, avînd dimensiunile prezentate în figura 3.2. Infășurările, primară și secundară sînt cilindrice, fiind plasate pe cele două coloane ale miezului magnetic.

Datele de calcul ale transformatorului sînt : puterea nominală 2 KVA; durata relativă de funcționare 50%; tensiunea la bornele primare 220 V, 50 Hz; tensiunea secundară maximă 300 V, iar minimă 200 V; numărul treptelor de reglare -6; curentul secundar maxim 20 A; clasa de izolație F. /47,48,49/.

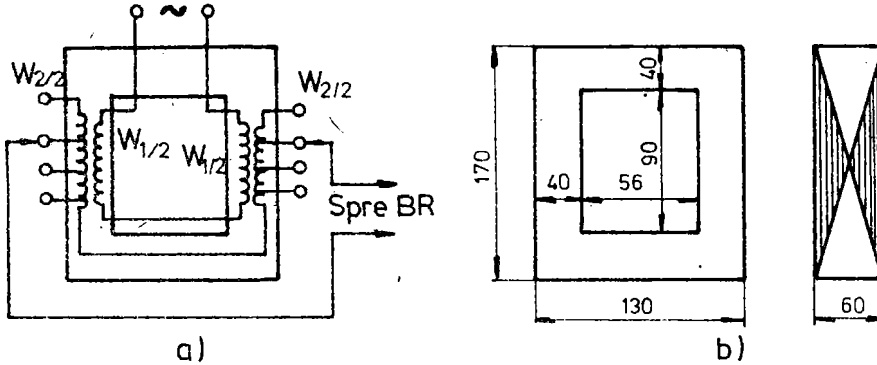


Fig.3.2. Transformatorul TART de la modelul ASC-2700 :
a-schema electromagnetica; b-circuitul magnetic.

Datele rezultate din calculul transformatorului TART și de verificare la încălzire a acestuia, sînt prezentate în tabelul 3.1. iar ansamblul acestuia în figura 3.3.

Tabelul 3.1.

Tipul tolei	Grosi- mea lei (mm)	B Te	W ₁ (spire)	W ₂ (spire)						q _{cu1} (mm ²)	q _{cu2} (mm ²)	I ₁₀
				1	2	3	4	5	6			
E4A	0,3	1,2	340	465	433	402	371	340	309	3,50	2,94	0,076

3.1.2. Blocul redresor BR

Redresorul utilizat la încărcarea bateriilor de condensatoare este format din patru diode, și are schema din figura 3.4. Cele patru diode: n_1 ; n_2 ; n_3 și n_4 trebuie să suporte curentul de încărcare a bateriilor de condensatoare și să reziste la o anumită tensiune inversă ce poate apare pe o diodă blocată. Avîndu-se în vedere că în perioada de încărcare a bateriei de condensatoare, prin punte trece un curent maxim de 20 A, la o tensiune de 100 V, respectiv un curent minim de 6A la o tensiune de 200 V, diodele



Fig.3.3. Ansamblul transformatorului TART de la modelul M3C-2700

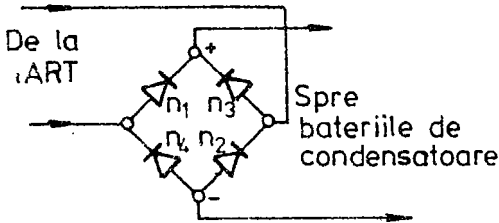


Fig.3.4. Puntea redresoare utilizată la încărcarea bateriilor de condensatoare

bilă să fie cel puțin dublu tensiuni de alimentare, relația (3.2):

$$\begin{aligned} I_{n1...4} &= (2...3) I_{inc} \\ \text{și} \quad U_{Rn1...4} &= 2 \cdot U_{alim}. \end{aligned} \quad (3.1)$$

Aplicând relațiile (3.1) la valorile curenților de încărcare și a tensiunii de alimentare, s-au ales din catalogul I.P.R.S. Băneasa București, diodele de tip KS 1160, care au caracteristicile prezentate în tabelul 3.2.

alese vor trebui să lucreze la regimurile menționate, fără să apară străpurgerea lor. Din considerente de limitare a dispersiei termice pe diode, și de siguranță în funcționare, acestea se aleg pentru un curent de două, sau chiar trei ori mai mare, decât cel nominal, iar tensiunea maximă admisibilă

Tabelul 3.2.

Corect Tipul	I_f (A)	I_c (A)	U_R (U)	I_{PRI} (A)	U_{fn} (V)
KS 1160 R	70	60	1000	200	1,5

Pentru protecția tiristoarelor de încărcare a bateriilor de condensatoare BCP

și BCA s-a introdus în circuit , după blocul redresor și în serie cu tiristoarele de încărcare o siguranță e_1 de 15A, iar în vederea diminuării șocului de curent la încărcarea condensatoarelor s-a introdus în serie cu aceștia o rezistență de limitare a curentului. Valoarea acestei rezistențe a fost calculată în capitolul 2 și este de aproximativ 6 ohmi.

3.1.3. Bateriile de condensatoare BCP și BCA de la modelul MSC-2700

Consumatorul principal de energie la mașinile de sudat prin presiune cu energie înmagazinată în câmp electrostatic, sînt bateriile de condensatoare. Prin urmare, acumularea energiei se face în condensatoare, energie ce poate fi precis dozată prin reglarea tensiunii de încărcare și/sau prin reglarea capacității condensatoarelor. Condensatoarele utilizate la realizarea bateriei, trebuie să asigure o funcționare sigură și de lungă durată a mașinii, la un regim de încărcare și de descărcare completă, respectiv să-și conserve capacitatea reglată în timpul exploatării. De asemeni, pentru a se micșora gabaritul bateriilor de condensatoare, este necesar și de dorit ca volumul și greutatea elementelor componente să fie cît mai reduse pe unitatea de energie acumulată. La execuția modelului experimental s-a mai luat în considerare și tensiunea de încărcare a bateriilor de condensatoare care trebuie să fie mai mare decît tensiunea de descărcare a acestora.

Schema de alimentare a bateriilor de condensatoare s-a stabilit în concordanță cu energia maximă care trebuie înmagazinată, în acestea. Astfel, din relația(1.1) se determină capacitatea bateriei de condensatoare pentru o energie maximă de 2,7 KJ (tabelul 1.1) și o tensiune maximă de încărcare 300 V, relația (3.2) :

$$C = \frac{2 \cdot E}{U_c^2} \quad (3.2)$$

unde:

E - energia înmagazinată în [J] ;

U_c - tensiunea de încărcare în [V]; C - capacitatea în [F].

Cu datele stabilite pentru modelul MSC-2700, capacitatea condensatorilor din bateria principală BCP, este :

$$C = \frac{2.2700}{300^2} = 0,06 \text{ F} \quad (3.3)$$

Luându-se în considerare studiile făcute în capitolele 1 și 2, s-a executat o baterie de condensatoare de 0,1 F capacitate din care :

- 0,06 F reprezintă capacitatea bateriei principale BCP;
- 0,04 F reprezintă capacitatea bateriei auxiliare BCA, necesare realizării unor cicluri de sudare, respectiv realizarea unor forme de descărcare după necesitățile tehnologiei de sudare.

La mașinile de sudat prin presiune cu energie înmagazinată, pentru acumularea energiei sînt utilizați, fie condensatoarele de hîrtie (uscate), fie condensatoarele electrolitice /51/ ; /77/. Pentru primul caz, capacitatea condensatoarelor poate fi calculată cu relația (3.4) :

$$C = \frac{\epsilon \cdot A}{4 \cdot \pi \cdot d} \cdot \frac{1}{9 \cdot 10^{11}} \text{ [F]} \quad (3.4)$$

unde :

- ϵ - permitivitatea dielectrică ;
- A - suprafața unei plăci a condensatorului, în cm²;
- d - distanța dintre plăci în cm.

Aceste condensatoare pot fi dreptunghiulare și sînt calculate, respectiv utilizate la capacități mari, sau condensatoare cilindrice la capacități mici.

Condensatoarele electrolitice, fiind polarizate, acestea nu pot fi utilizate în scheme de c.e, dar sînt folosite în ultimul timp la acumularea energiei electrice de la mașinile de sudat prin presiune cu energie acumulată în câmp electrostatic. Pentru modelul experimental s-a folosit la acumularea energiei electrice două baterii, formate din condensatoare electrolitice fabricate la IPRS Băneasa, a căror caracteristici sînt date în tabelul 3.3.

Cunoscîndu-se anumite particularități de funcționare ale condensatoarelor electrolitice a trebuie să se studieze cum se modifică în timp capacitatea și alte caracteristici, la încărcări și descărcări repetate, respectiv cum se modifică temperatura electrolitului.

Tabelul 3.3.

Caract.	U_c (V)	U_{cv} (V)	C (μF)	M (gr)	H (mm)	D (mm)
Tipul						
EG-2471	350	385	100+100	100	80	36
o88-CE-4o7 R.P.U.	360	385	100+100	325	70	40
Tipul I } Q.D.	500	510	260	460	125	59,9
Tipul II } CO Ltg	475	530	225	320	120	50,5

Pentru a avea un element de comparație, s-au luat în considerare, câteva tipuri de condensatoare fabricate de firma "Oridjin Denki CO, Ltg" și de industriă R.P.Ungare a căror caracteristici sînt prezentate tot în tabelul 3.3. Cele mai apropiate caracteristici de funcționare, în raport cu condensatoarele EG-2471 fabricate la IPRS Băneasa, le au condensatoarele tip o88-CE 4o7, produse în R.P.Ungară.

3.1.3.1. Stand pentru încercarea la șoc a condensatoarelor electrolitice. Pentru testarea fiabilității condensatorilor electrolitice din seria EG-2471 în regim de șoc, regim caracteristic sudării cu energie înmagazinată în câmp electrostatic, pe de o parte și respectiv în vederea formării lor, pe de altă parte, s-a conceput și executat un stand a cărui schemă electrică este arătată în figura 3.5.

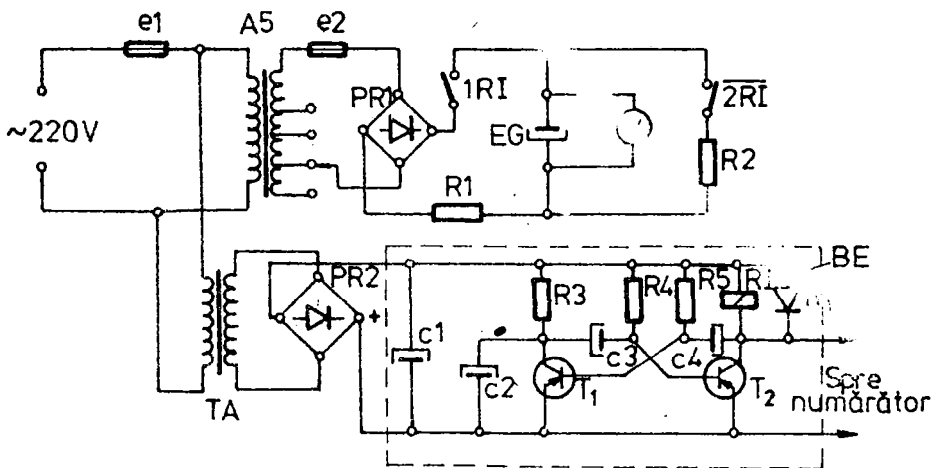


Fig.3.5.Schema electrică a standului pentru testarea condensatoarelor electrolitice.

Elementele componente ale schemei sînt date în tabelul 3.4.

Tabelul 3.4.

Nr. crt.	Denumirea	Simbol caract.	Nr. buc.	Nr. crt.	Denumirea	Simbol caract.	Nr. buc.
1	Siguranța 2A	e_1, e_2	2	9	Condensator C_1	500 μ F/ 35V	1
2	Autotrans- formator		1	10	Condensator C_2	100 μ F/ 35V	1
3	Punte redre- soare	PR ₁ - - 3PM6	1	11	Condensator C_3, C_4	500 μ F/ 70V	2
4	Rezistență R_1	50 /1A	1	12	Rezistență R_3	1,5 K	1
5	Rezistență R_2	1K/1A	1	13	Rezistență R_4, R_5	68 K	2
6	Punte redre- soare	PR ₂ - - 1PM2	1	14	Tranzistor T_1	BC 251	1
7	Releu inter- mediar	RI-13 RS-72500	1	15	Tranzistor T_2	2N2904 AC 1808	1 1
8	Diodă n_1	D_{us} IN4148		16	Condensator	EG-2471 200 μ F/350V	400

Condensatoarele care s-au încercat au fost de 200 μ F/350V fiind supuse încărcărilor, respectiv, descărcărilor repetate de un anumit număr de ori pe minut. Încercările s-au pornit de la 10 decicluri pe minut și s-a ajuns pînă la 30 decicluri pe minut, în urma cărora au rezultat o serie de concluzii.

Condensatoarele supuse testării se încarcă prin rezistența R_1 de limitare a curentului de încărcare, de la puntea redresoare PR₁. Acest fenomen se începe la închiderea contactului 1RI al releului intermediar RI-13, respectiv se descarcă peste rezistența de sarcină R_2 tot la o comandă dată de releul RI-13 prin revenirea în poziție normală a contactului 2RI. Pentru a evita eventuale accidente la încercarea condensatoarelor, s-a dispus poziționarea contactelor 1RI și 2RI, ca în schemă. Încărcările și descărcările condensatoarelor se fac la timpi egali, astfel: primul lot a fost testat la încărcări și descărcări repetate, cu un tact de 10 cicluri pe minut, adică 5 secunde încărcare,

5 secunde descărcare; al doilea lot a fost testat cu un tact de 15 cicluri pe minut, 2 secunde încărcare, 2 secunde descărcare; al treilea lot cu un tact de 20 cicluri pe minut și ultimul cu 30 conectori și deconectori pe minut. Rezultatele încercărilor sînt date în diagramele din figura 3.6, care reprezintă modificarea temperaturii electrolitului în timpul solicitărilor la șoc.

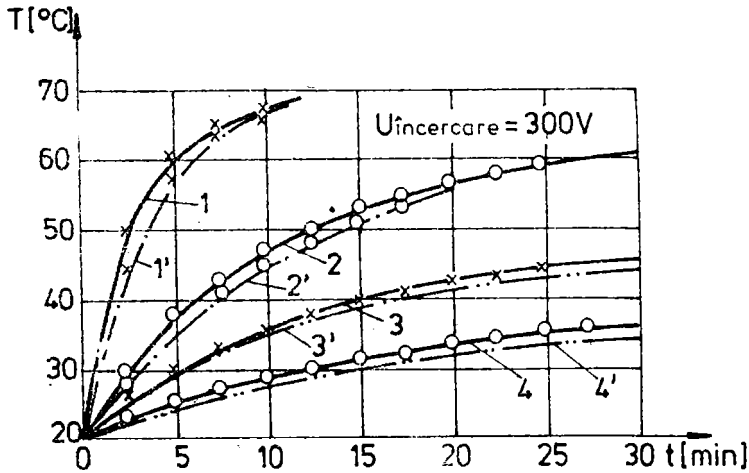


Fig.3.6. Dependența temperaturii condensatoarelor electrolitice, de timp la încercarea la șoc a acestora: (1-1')-30 cicluri/minut; (2-2')-20 cicluri/minut; (3-3')-15 cicluri/minut; (4-4')-10 cicluri/minut.

Cu linie plană sînt trasate curbele $T=f(t)$ pentru condensatoarele fabricate la IPRS-Băneasa din seria EG-2471, iar cu linie punct, sînt trasate rezultatele variației $T=f(t)$ în cazul condensatorilor tip 088-CE-4o7 produși în R.P.Ungară. Standul pe care s-au făcut testările este prezentat în fig.3.7.

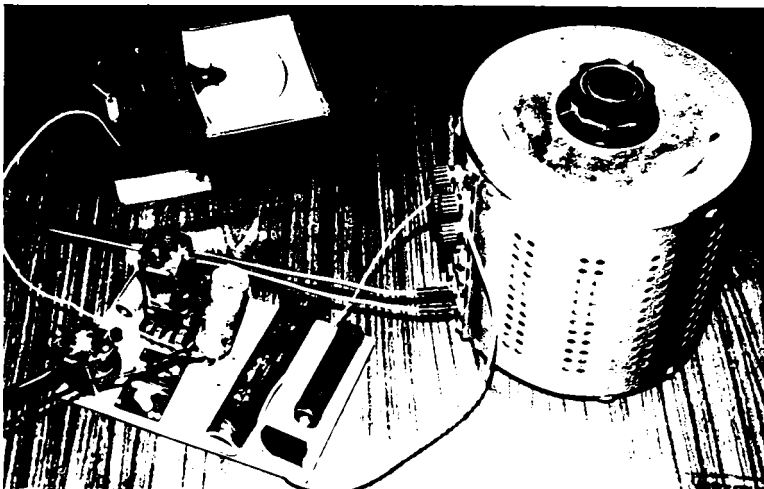


Fig.3.7. Stand pentru încercarea la șoc a condens. electrolitice.

3.1.3.2. Concluzii referitoare la încercarea condensatoarelor electrolitice.

Toate condensatoarele electrolitice, înainte de a fi montate au fost încercate pe standul prezentat în figura 3.7, rezultând următoarele:

- la o anumită tensiune de încărcare (380V), condensatoarele au început să-și piardă caracteristicile de funcționare;
- prin repetarea cu un anumit tact, a încărcării și descărcării condensatoarelor, nu s-a putut evita creșterea temperaturii electrolitului.

Aceste două probleme au stat în atenția autorului, pentru a realiza o baterie de condensatoare, cu parametri optimi. Dacă tensiunea de încărcare a condensatorilor crește peste o anumită valoare, numită de vîrf sau limită care în cazul de față este de 380V, atunci are loc o creștere bruscă a curentului de străpungere și condensatorul se scurtcircuitază, nemaiputînd fi utilizat. De aceea, în realizarea schemelor de încărcare a bateriilor de condensatoare trebuie să se aibă în vedere acest fenomen. În lucrarea de față posibilitatea creșterii curentului de străpungere a fost îndepărtat prin introducerea unei siguranțe rapide (dimensionată corespunzător), în serie cu tiristorul de încărcare. Mai mult, un condensator scurtcircuitat, are o influență negativă și asupra altor condensatoare. Pentru a elimina și acest fenomen, la bateriile de condensatoare de la modelul experimental MSC-2700, s-a procedat la conectarea a 5 condensatoare, într-un corp comun, și apoi legarea lor în circuit printr-o siguranță de 10A. Apariția unei tensiuni inverse pe condensatoarele electrolitice, conduce la scoaterea mai repede din funcționare a acestora, motiv pentru care impulsul de curent acceptat la sudare, este aperiodic, sau cu atenuare critică, figura 1.6.a și b.

Temperatura condensatoarelor nu trebuie să depășească 40-50°C, curbele 3-3' și 4-4' din figura 3.6. Dacă nu se respectă această condiție are loc o distrugere rapidă a condensatoarelor, motiv pentru care numărul de încărcări și descărcări să fie sub 15 cicluri pe minut, sau altfel spus, în 4 secunde să aibă loc cel mult o încărcare și descărcare a condensatoarelor S-au testat și format pe stand 600 condensatoare din seria EG-2471 și 10 din seria 088-CE-407. Rezultatele au fost bune, astfel :

din 6 o condensatoare încercate, doar 2o nu au fost corespunzătoare adică 33%. Se poate aprecia calitatea bună a acestora din urma încercărilor și se pot pune în paralel caracteristicile condensatoarelor de fabricație indigenă tip EG-2471, cu cei produși de firma "oridjin Denki-CO, Ltg" și cu cei produși în R.P. Ungară de tipul o88-CO-4o7.

3.1.3.3. Bateria de condensatoare de 100.000 μF

Bateriile de condensatoare prezentate în figura 3.8 formează prin punerea în paralel a elementelor, o capacitate de 100.000 μF , în care : 61.500 μF reprezintă capacitatea bateriei principale BCP, iar 38.500 μF capacitatea bateriei auxiliare BCA.

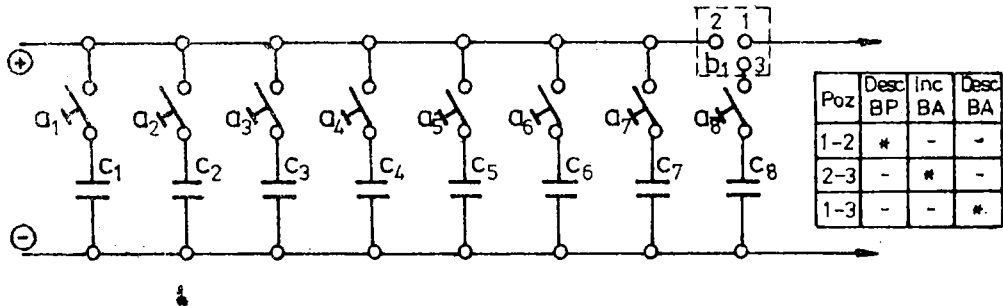


Fig.3.8. Schema electrică a bateriei de condensatoare: $C_1=500\mu\text{F}$; $C_2=1000 \mu\text{F}$; $C_3=2000 \mu\text{F}$; $C_4=4000 \mu\text{F}$; $C_5=8000 \mu\text{F}$; $C_6=16.000 \mu\text{F}$; $C_7=30.000 \mu\text{F}$; $C_8=38.500 \mu\text{F}$.

Capacitatea bateriei principale, poate fi modificată în trepte, prin punerea în paralel a blocurilor de condensatoare $C_1; C_2; \dots; C_7$. Conectarea în paralel a acestor blocuri este realizată prin comutatoarele $a_1; a_2; \dots; a_7$, care vor fi închise obligatoriu înainte de a începe procesul de încărcare a condensatoarelor. În felul acesta rezultă : 119 combinații numai pentru capacitatea condensatoarelor BCP cu valorile prezentate în tabelul 3.5.

Cu ajutorul bateriei auxiliare de condensatoare C_8 , poate face un tratament de preîncălzire a punctului sudat cu toate consecințele studiate în paragraful 1.4.2. Bateria auxiliară BCA are o capacitate de 38.500 μF și se încarcă de la aceeași sursă ca și bateria principală BCP. Descărcarea bateriei auxiliare prin transformatorul de sudare se face după schema electrică prezentată în figura 2.15 b, iar influența acesteia

asupra curentului, respectiv, asupra tehnologiei de sudare este arătată în capitolul 4.

Capacitatea $\times 10^3 \mu F$

Tabelul 3.5.

0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6
6,5	7	7,5	8	8,5	9	9,5	10	10,5	11	11,5	12
12,5	13	13,5	14	14,5	15	15,5	16	16,5	17	17,5	18
18,5	19	19,5	20	21,5	22	22,5	23	23,5	24	24,5	25
25,5	26	26,5	27	27,5	28	28,5	29	29,5	30	30,5	31
31,5	32	32,5	33	34,5	35	36,5	36	36,5	37	37,5	38
38,5	39	39,5	40	40,5	41	41,5	42	42,5	43	43,5	44
44,5	45	45,5	46	46,5	47	47,5	48	48,5	49	49,5	50
50,5	51	51,5	52	52,5	53	53,5	54	54,5	55	55,5	56
56,5	57	57,5	58	58,5	59	59,5	60	60,5	61	61,5	

Bateria principală și auxiliară de condensatoare este formată din mai multe blocuri prezentate în figura 3.9.

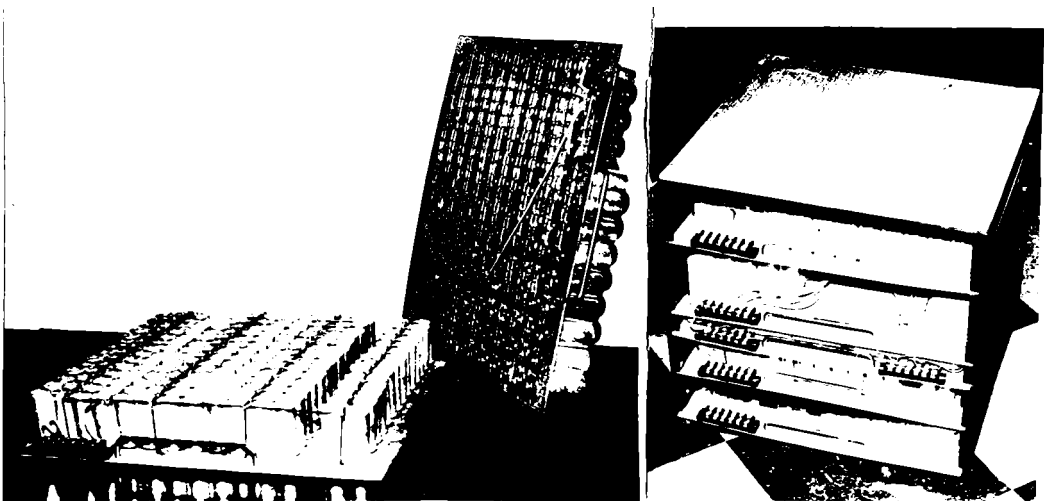


Fig.3.9. Bateria de condensatoare de la modelul MSC-2700 :
a) - Subansamblu ; b) - Ansamblul

Puterea P dată de bateria de condensatoare este funcție de energia acumulată și de timpul de descărcare conform relației(3.5)

$$P = \frac{E}{t_d} \quad [\text{kW}] \quad (3.5)$$

unde :

E - energia înmagazinată în condensatoare în [kJ];

t_d - timpul de descărcare al bateriei de condensatoare în [s]

Considerându-se un $t_d = (10...30) \cdot 10^{-3}$ secunde [77] și energia înmagazinată 2,7 kJ, rezultă pe bateria de condensatoare o putere minim P_m și maximă P_M în corelație cu timpul $t_{d_m} = 0,030$ și $t_{d_m} = 0,010$ secunde, de 90 respectiv 270 kW.

Capacitatea bateriei de condensatoare BCP se modifică prin punerea în paralel a capacităților $C_1...C_7$, prin intermediul unor comutatoare, (figura 3.10), montate pe placa frontală a mașinii.

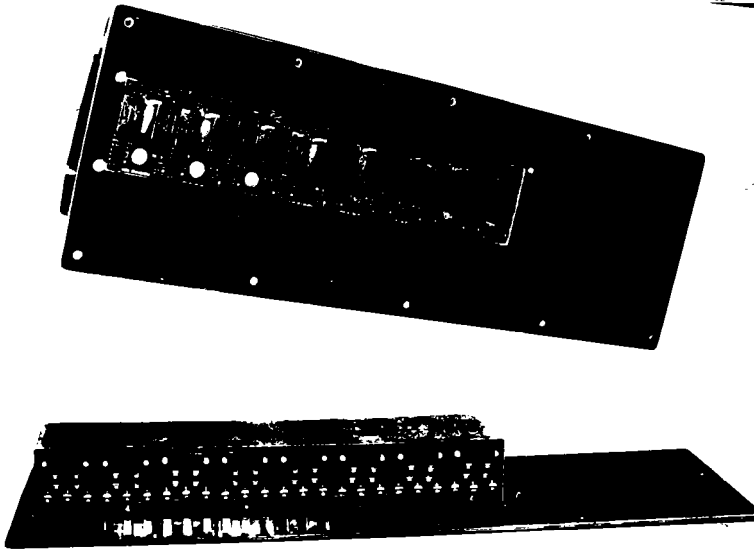


Fig.3.10. Placa cu comutatoare pentru modificarea capacității condensatoarelor

În acest fel se influențează corespunzător energia acumulată, respectiv puterea pe care bateria o poate transmite transformatorului de sudare. De menționat că aceste comutatoare de tip ABR0 4480-70 sînt prevăzute cu o protecție maximă de curent, fiind fixate la 16 A curent maxim pe întrerupător.

3.2. Concepția transformatorului de sudare pentru mașinile cu condensatoare.

3.2.1. Particularitățile constructive și funcționale ale transformatoarelor de sudare în variantă optimizată.

Transformatorul de sudare al mașinilor cu energie înmagazinată în condensatoare, funcționează în condiții foarte diferite în raport cu regimul de lucru al transformatorului de sudare pentru mașinile de curent alternativ, alimentate cu tensiune sinusoidală, rezultând următoarele particularități :

- descărcarea bateriei de condensatoare prin transformatorul de sudare, face ca prin aceasta să treacă curenți care au , de la caz la caz un caracter periodic amortizat, sau un caracter aperiodic. Aceștia sînt de fapt curenții regimului tranzitoriu;
- timpul foarte scurt de descărcare a bateriilor de condensatoare, determină și o încălzire extrem de mică a înfășurărilor transformatorului de sudare;
- pierderile în cupru și în fier fiind mici, transformatorul nu necesită răcire cu apă a discurilor secundare;
- caracterul curenților de descărcare, impun calculul miezului de fier pentru valoarea maximă a impulsului de descărcare, luîndu-se totodată în considerare toate posibilitățile de reglaj a parametrilor regimului de sudare : tensiunea de încărcare și capacitatea bateriei de condensatoare, respectiv raportul de transformare K al transformatorului de sudare;
- forma curențului de descărcare insuficient cunoscută la unele regimuri de sudare, introduce o oarecare nedeterminare în calculul miezului TS. Astfel, dacă miezul T.S. devine saturat, pentru un anumit regim de sudare, sau pentru o schemă de descărcare, acestea conduc la micșorarea curențului de sudare, deci schimbarea regimului de lucru și o calitate scăzută a punctului sudat;
- se impune ca dispersia magnetică a TS. să fie minimă

3.2.2. Bazele teoretice privind optimizarea construcției transformatoarelor de sudare cu dispersie minimă.

Studiile făcute în cazul transformatoarelor de sudare cu bobinele cilindrice, de înaltă tensiune, au arătat că inductivitățile de dispersie sînt mari și nu pot fi utilizate la

mașinile de sudat cu energie înmagazinată în condensatoare, motiv pentru care s-a recurs la transformatoare cu bobinajele sub formă de disc (g. let) /47;48;75;77/. Aceste transformatoare sînt utile și în cazul mașinilor de sudat cu energie înmagazinată și fără nici o problemă constructivă, se pot obține inductivități de dispersie minime și să se creeze condiții optime pentru răcirea primarului transformatorului.

3.2.2.1. Transformator de sudare cu 6 bobine primare

Cel mai simplu mod de alegere și plasare a bobinelor primare este prezentat în figura 3.11.. Lucrarea se limitează la studiul

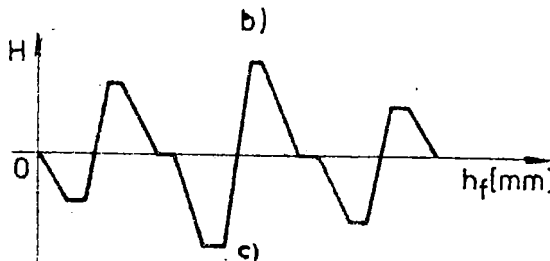
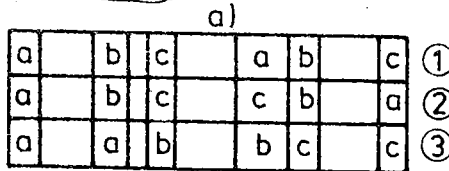
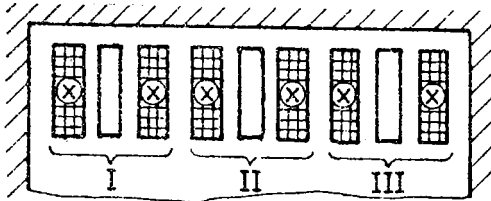


Fig. 3.11. Transformator de sudare cu 3 grupe (I, II și III): a-modul de plasare a bobinelor; b- posibilități de formare a grupelor; c- variația câmpului pentru cazul 2 b.

Se dispune practic, de modificarea raportului de transformare, obținându-se în total 8 trepte de reglare.

Pentru a calcula curenții în discurile secundare și parametrii schemei echivalente, curenții nesinusoidali obținuți prin descărcarea bateriei de condensatoare prin transformatorul de sudare, se descompun în serie Fourier, relația 3.6 /75/ :

acestui transformator, care are trei grupe simetrice, plasate pe coloana centrală a unui transformator cu miez în mantă. Prin a, b, c se înțelege cele 6 bobine primare, . Se observă că două bobine încadrează un disc secundar (în total sînt 3 discuri) după combinațiile posibile din figura 3.11.b. Variația câmpului magnetic pentru combinația (2) din figura 3.11.b, este arătată în figura 3.11.c. Prin conectarea bobinelor: a; b și c în serie sau paralel, se

$$i_1 = \sum_{n=1}^{\infty} I_{1n} \cdot \sin(\omega \cdot n \cdot t - \varphi_n) \quad (3.6)$$

Fiecare armonică a curenților, fie din primar sau din secundar, se poate trata independent. În felul acesta se calculează ca valori medii pierderile de energie activă ΔP și energia câmpului disipat W , cu relațiile (3.7):

$$\begin{aligned} \Delta P &= \sum \Delta P_n \\ W &= \sum W_n \end{aligned} \quad (3.7)$$

Dacă I_2 , este valoarea efectivă a curentului secundar, atunci rezistența la scurtcircuit ca valoare medie respectiv inductivitatea de dispersie sînt date de relația :

$$R_{med} = \Delta P / I_2^2; \quad L_{med} = 2 \cdot W / I_2^2 \quad (3.8)$$

Acest procedeu de calcul, pentru R_{med} și L_{med} , este legat de un mare număr de operații, de aceea în lucrare s-a folosit o metodă mai simplă, în care caz bobinajele se consideră identice pentru cele trei grupe, iar intervalele dintre decuplări, adică timpul

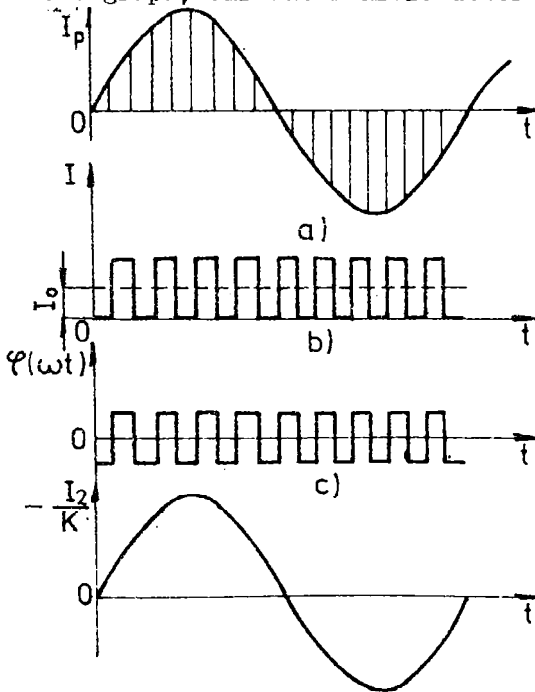


Fig.3.12. Formarea curentului primar, prin modularea de o curbă periodică de $I \cdot F$ a unor impulsuri dreptunghiulare.

de sudare este, egal cu perioada tensiunii, figura 3.12, fără a influența hotărîtor legea de distribuție a curentului în secțiunea spirei secundare. Astfel, curentul care trece prin bobinele primare, se pot reprezenta sub forma unor impulsuri dreptunghiulare, succesive, figura 3.12 b, modulată de o curbă periodică de înaltă frecvență, fig.3.12.d

Considerînd amplitudinea impulsurilor egale cu unitatea, rezultă pentru curba modulatorie, care repetă ca formă curba curentului secundar, o ordonată egală cu i_2/k . Curentul primar i_1 va fi dat de relația (3.9).

$$i_1 = \left[-I_0 - \varphi(\omega t) \right] \cdot i_2/k \quad (3.9)$$

sau

$$i_1 = i^{(0)} + i_1^{\sim} \quad (3.10)$$

unde:

I_0 - componenta continuă ;

$\varphi(\omega t)$ - componenta periodică;

$$i^{(0)} = \frac{i_2}{k} ;$$

$$i_1^{\sim} = -\varphi(\omega t) \cdot \frac{i_2}{k} .$$

Rezolvarea ecuațiilor (3.9) și (3.10), pune probleme detaliate de calcule deoarece forțele de magnetizare sînt distribuite mai mult sau mai puțin uniform . Mai mult în secțiunea spirei secundare trebuie să existe o componentă care să corespundă curentului i_1^{\sim} și de aceea s-a recurs la o altă metodă de determinare a transformatorului TS de la modelul MSC-2700.

3.2.2.2. Metodică pentru determinarea dimensiunilor transformatorului de sudare.

Pentru determinarea dimensiunilor principale ale transformatorului de sudare de la mașinile cu energie înmagazinată în condensatoare, este necesar să se cunoască parametrii mașinii (a circuitului exterior), natura și dimensiunile pieselor ce se sudază, valoarea maximă a curentului de sudare precum și timpul de sudare, alese din considerente tehnologice. La început parametrii transformatorului (R_{sc} , X_c și X_{sc}) sînt necunoscuți, iar parametrii circuitului exterior (R_c , X_c și R_p) se pot calcula în baza determinărilor de la circuitul exterior /48,49/. Schema echivalentă a transformatorului de sudare respectiv a circuitului exterior sînt prezentate în figura 3.13.

In majoritatea cazurilor, înfășurările^{trans.} de sudare, la mașinile cu energie înmagazinată și în mod deosebit cele pentru sudare în puncte nu sînt dimensionate din condiția de încălzire. Acestea sînt dimensionate din condiția unui randament admis și cît mai

mare, deoarece bobinele nu se încălzesc, iar durata relativă de funcționare este mică $DA \ll 5\%$. Un calcul de verificare al încălzirii transformatorului, se recomandă a fi efectuat la mașinile de sudat prin presiune în linie cu energie înmagazinată, și la cele cu un DA mare.

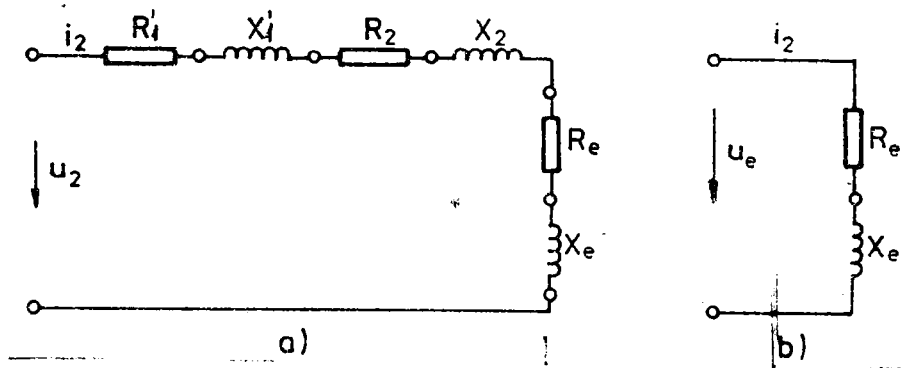


Fig.3.13.Schema electrică echivalentă: a-transformatorul de sudare împreună cu circuitul exterior; b-circuitul exterior.

Transformatorul de sudare de la modelul MSC-2700, a fost dimensionat și executat în varianta cã, componenta de magnetizare a curentului primar se poate neglija, fiind foarte mică în comparație cu valoarea nominală a acestuia, iar regimul de descărcare al bateriei principale de condensatoare este cel prezentat în figura 3.14. Tensiunea pe condensatoare, în cazul regimului periodic amortizat este :

$$u_c = U_c \cdot e^{-mt} \left(\frac{m}{\omega} \sin n.t + \cos n.t \right) \quad (3.11)$$

unde :

$$m = \frac{R_s}{2 L_s} \text{ și } n = \sqrt{\frac{1}{L_s \cdot C \cdot K^2} - m^2}$$

R_s ; L_s - rezistența, respectiv inductanța totală în cazul unui circuit echivalent /47; 48; 49; 75/;

Considerînd că toată tensiunea U_c , cade pe rezistența și pe inductivitatea de dispersie primară a transformatorului de sudare, atunci se poate accepta că tensiunea U_c este echilibrată de t.e.m. din bobina primară a transformatorului, relația (3.12):

$$u_c = W_1 \frac{d\phi}{dt} \quad (3.12)$$

iar fluxul magnetic ϕ , este dat de relația (3.13) :

$$\phi = \int_0^t u_c \cdot dt + \phi_{rem} \quad (3.13)$$

unde:

ϕ_{rem} - fluxul remanent din miezul TS, la $t=0$;
Este evident că integrala $\int_0^t u_c \cdot dt$, primește cea mai mare valoare, la momentul trecerii tensiunii u_c prin zero. În timp, acest moment t_{2max} , din figura 2.14.b corespunde cu :

$$\bar{\Pi} = n \cdot t_1 + \alpha \quad (3.14)$$

$$\alpha = \arctg \frac{n}{m};$$

$$t_1 = \frac{\bar{\Pi} - \alpha}{n} \quad (3.15)$$

Efectuînd integrala (3.13), de la $t=0$ la $t=t_1$, se obține o expresie (3.16) pentru cea mai mare valoare a fluxului magnetic;

$$\phi_{max} = \frac{U_c \sqrt{LC}}{W_2} \left[e^{-(\bar{\Pi} - \alpha)ctg\alpha} + 2\cos\alpha \right] + \phi_{rem} \quad (3.16)$$

în care:

W_2 - numărul de spire al secundarului;

Se recomandă ca în expresia (3.16), mărimile să fie notate prin valorile inițiale, iar în raport cu parametrii presupuși cunoscuți ai mașinii: $L_S=1,2.L_2$ și $R_S=1,2.R_2$, respectiv cu timpul de sudare t_S , pot fi determinați parametrii m și n , relația (3.17) /75/ :

$$m = R_S/2.L_S \quad \text{și} \quad n = \bar{\Pi}/t_S \quad (3.17)$$

Relația (3.17) se folosește drept element de acționare a tiristoarelor, dar poate fi utilizată și în cazul ignitroanelor, în vederea modificării momentului de intrare în conducție a acestora, astfel :

$$\alpha = \beta \cdot t \cdot m = \arctg \frac{2 L_S \bar{\Pi}}{t_S \cdot R} \quad (3.18)$$

Din expresia (2.5), pentru valoarea maximă a curențului, rezultă că:

$$U_c \cdot \sqrt{C} = \frac{I_{max} \cdot \sqrt{L_S}}{e \cdot t_{max} \cdot m} \quad (3.19)$$

Corelind relația (3.19) cu (3.16), pentru valoarea maximă a fluxului magnetic, notată prin mărimile inițiale, se obține formula (3.20):

$$\phi_{\max} = \frac{I_{\max} L}{W_2} F(\alpha) + \phi_{\text{rem}} \quad (3.20)$$

unde:

$$F(\alpha) = \frac{e^{-\left(\frac{\pi}{2} - \alpha\right) \operatorname{ctg} \alpha} + 2 \cos \alpha}{e^{-\alpha \operatorname{ctg} \alpha}} \quad (3.21)$$

Pentru determinarea fluxului maxim, trebuie cunoscută dependența dintre funcția $F(\alpha)$ și unghiul α , de la 0 la $\frac{\pi}{2}$, dependența arătată în figura 3.14.

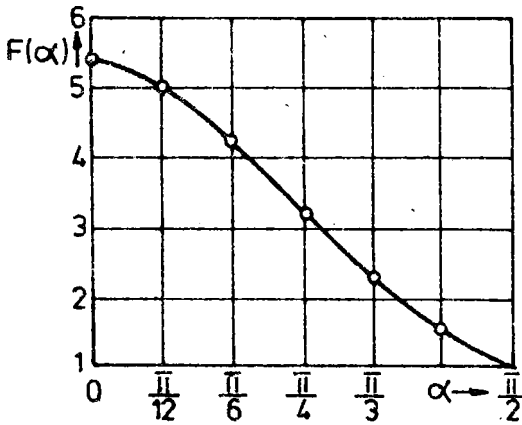


Fig.3.14. Dependența funcției F de unghiul α .

Analog cu metoda pentru determinarea fluxului maxim, pot fi obținute expresii în vederea determinării energiei acumulate în condensatoare, respectiv determinarea capacității reduse din schemele echivalente, relațiile (3.22) și (3.23), care se pot aplica de la caz la caz /47, 48, 9, 5.

$$E = \frac{I_s \cdot I_{\max}^2}{2} e^{2\alpha \operatorname{ctg} \alpha} \quad (3.22)$$

și

$$CK^2 = \frac{1}{L_s \left[\left(\frac{\pi}{t_s} \right)^2 + m^2 \right]} \quad (3.23)$$

Raportul de transformare K , poate fi determinat din relațiile (3.22) și (3.23) dacă se cunoaște tensiunea de încărcare U_c a condensatoarelor și energia necesară sudării. Intâi se determină capacitatea C a condensatoarelor, iar apoi raportul K , din mărimea cunoscută a capacității reduse CK^2 .

Metodica specificată poate fi aplicată, dacă drept date inițiale se consideră cunoscută energia E și timpul de sudare, situație din lucrarea prezentă. În continuare se face o dimensionare după metodicile cunoscute a TS. Dimensiunile secțiunii miezului transformatorului, depind în măsură considerabilă de schema de

descărcare a condensatoarelor. Astfel, cele mai mici dimensiuni trebuie să fie în cazul cînd expresia (3.20), fluxul remanent Φ_{rem} intră cu semnul minus. Acest proces se obține atunci cînd de la un punct sudat la altul, se schimbă sensul curentului de descărcare prin transformatorul de sudare, sau remagnetizarea miezului de la o sursă de curent continuu pe timpul pauzelor. Această ultimă soluție este mai dificil de realizat, dar dacă o mașină este prevăzută cu o sursă separată de curent continuu, atunci magnetizarea remanentă joacă un rol pozitiv și trebuie create condiții în care ea să fie cît mai mare (sisteme de magnetizare mutuale fără întrefier).

La mașinile cu energie înmagazinată în condensatoare, utilizate la realizarea așa ziselor microsuduri, nu se iau nici un fel de măsuri pentru folosirea cîmpului remanent, deoarece el exercită un rol negativ, în sensul că în curentul primar apare o considerabilă componentă continuă, iar amplitudinea curentului secundar scade. Din contră, sînt utilizate metode constructive care conduc la micșorarea fluxului magnetic remanent, cum ar fi : folosirea sistemelor magnetice cu întrefier, proiectarea înfășurării primare a TS cu punct median sau schimbarea semnului de descărcare a curentului prin înfășurarea primară a TS /48,77,127/.

Prima metodă a fost rezolvată, în lucrarea ^{1,2,3} în cazul mașinilor MSCIPT-1L și MSCIPT-2 . Pentru modelul experimental MSC-2700 s-a folosit schimbarea semnului de descărcare a curentului din BCP și BCA, prin transformatorul de sudare.

Pentru mașinile specializate, datele inițiale sînt cunoscute cu destulă precizie, motiv pentru care se pot elabora calcule exacte, care evidențiază căderea de tensiune pe rezistență activă și pe inductivitatea de dispersie a primarului TS., componenta de magnetizare a curentului primar, etc./75;76/.

Pentru calculul mașinilor universale, datele inițiale nu pot fi cunoscute cu destulă exactitate dinainte, mai mult ele putîndu-se corecta și verifica pe parcursul execuției mașinilor. De aceea recomandă, ca în calcule să se folosească o metodă simplificată, elaborîndu-se cîteva variante și în raport cu ele să se aleagă fluxul maxim și să se stabilească limitele de variație ale raportului de transformare.

Așa cum s-a menționat la începutul acestui paragraf, rezistențele se consideră cunoscute și constante ca de altfel, și rezistența de contact R_c . În realitate rezistența de contact R_c se modifică în limite largi, și mai ales la grosimile mari ale pieselor ce se sudează. Această variație este foarte greu de evidențiat în calcule și ipoteza constanței rezistenței R_c , poate să conducă la erori considerabile și mult mai mare ca în folosirea schemelor echivalente a transformatorului de sudare și a circuitului exterior. De aceea, calculul circuitului exterior, a rezistenței și reactanței transformatorului de sudare poate fi făcut, ca și pentru transformatoarele obișnuite de curent alternativ la $f = 50$ Hz, cu specificația, că la forma de impuls a curentului se va face o corecție, în concordanță cu legea de descărcare a condensatoarelor.

3.2.2.3. Pierderile suplimentare în înfășurările transformatoarelor de sudare cu impulsuri.

Sudarea prin presiune cu energie înmagazinată în condensatoare se face prin descărcarea unor dispozitive acumulate de energie, prin transformatorul de sudare, sau prin descărcare directă /61,62,63,64/. În cazul când, descărcarea se face peste înfășurarea primară a transformatorului, este necesar să determinăm pierderile suplimentare din condensatoare pentru a putea alege corect înfășurările transformatorului.

În literatura de specialitate sînt lucrări care se ocupă de efectul superficial, în cazul curenților neperiodici, dar pentru conductori rectilinii, unificate cu secțiune zero /75,76,77/.

În vederea determinării pierderilor suplimentare în bobinajele TS se folosește un procedeu simplificat bazat pe aplicarea integralei Fourier al calculului transformatoarelor de radiolocație, la care impulsul de curent este dreptunghiular. Se admite că componenta de magnetizare a curentului primar este infinit de mică (practic această componentă este de (1...5)% din curentul nominal primar), iar pierderile de energie din înfășurările TS sînt date de relația (3.24):

$$\Delta W = \int_{-\infty}^{+\infty} i(t) \cdot u_a(t) \cdot dt \quad (3.24)$$

unde :

$i(t)$ - curentul de descărcare a condensatoarelor ;
 $u_a(t)$ - căderea de tensiune pe rezistența de scurtcircuit a transformatorului;

Pentru rezolvarea integralei (3.24) se folosește integrala din relația (3.25):

$$\int_{-\infty}^{+\infty} f_1(t) \cdot f_2(t) \cdot dt = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} f_1(\omega) f_2(-\omega) d\omega \quad (3.25)$$

unde:

$f_1(\omega)$ și $f_2(\omega)$ - sînt densitățile spectrale ale funcțiilor $f_1(t)$ și $f_2(t)$, respectiv se consideră:

$f_1(t) = i_1(t)$, $f_2(t) = u_a(t)$ și $u_a(-\omega) = i(-\omega) \cdot R(\omega)$.

Substituind relația (3.25) în (3.24), rezultă :

$$\Delta W = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} i(\omega) \cdot u_a(-\omega) \cdot d\omega \quad (3.26)$$

$$\text{sau: } \Delta W = \frac{1}{\pi} \int_0^{\infty} |i(\omega)|^2 \cdot R(\omega) \cdot d\omega \quad (3.27)$$

unde:

$|i(\omega)|^2$ - pătratul modulului densității spectrale de curent;
 $R(\omega)$ - rezistența la scurtcircuit funcție de pulsația .

În cazul cînd distribuția curentului în conductori este uniformă, pierderea de energie este dată de relația :

$$\Delta W_0 = \frac{1}{\pi} R(0) \int_0^{\infty} |i(\omega)|^2 \cdot d\omega = R(0) \int_0^{\infty} i^2(t) \cdot dt \quad (3.28)$$

iar factorul de pierderi $K_p = \Delta W / \Delta W_0$, va fi :

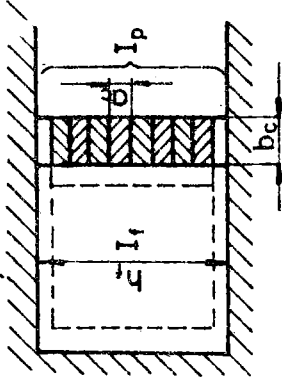
$$K_p = \frac{1}{\pi} \frac{\int_0^{\infty} |i(\omega)|^2 \frac{R(\omega)}{R(0)} \cdot d\omega}{\int_0^{\infty} i^2(t) \cdot dt} \quad (3.29)$$

Pentru a se calcula pierderile din bobinajele disc simetrice, se folosește formula lui Emde. În acest caz elementele bobinajelor sînt considerate ca și conductori plasați în creștăturile unei mașini electrice, figura 3.15, iar pierderile în cazul curenților aperiodici vor fi reduse la pierderile date de curenții periodici, relația (3.30).

$$\frac{R(\omega)}{R(0)} = \varphi(\beta) + A \cdot \psi(\beta) \quad (3.30)$$

unde :

$R(\omega)$ și $R(0)$ - rezistențele electrice ale conductorilor așezate în stratul p, la pulsația dată ω , și respectiv $\omega = 0$.



Funcțiile: β ; $\varphi(\beta)$; $\psi(\beta)$ și A sînt date de relația (3.31):

$$\beta = b_c \cdot \sqrt{\frac{u_0 \cdot Q_c \cdot N}{2 \cdot h_f}}$$

$$\varphi(\beta) = \beta \frac{\text{sh}2\beta + \sin 2\beta}{\text{ch}2\beta - \cos 2\beta};$$

$$\psi(\beta) = 2\beta \frac{\text{sh}\beta - \sin\beta}{\text{ch}\beta + \cos\beta}; \quad (3.31)$$

Fig. 3.15. Conductorii plasati în creștătura unui miez feromagnetic

$$A = \left(\frac{I_f}{I_p} \right)^2 + \frac{I_f}{I_p} \cos \gamma$$

unde: I_p - curentul total al stratului p;

I_f - curentul total între stratul l și p

γ - defazajul între I_p și I_f ;

a_c și b_c sînt dimensiunile secțiunii conductorului;

h_f - lungimea redusă a liniei cîmpului magnetic de dispersie (înălțimea bobinajului împărțită la coeficientul lui Rogowski).

În vederea simplificării calculelor, se recomandă, aproximarea funcțiilor $\varphi(\beta)$ și $\psi(\beta)$ după cum urmează :

$$\varphi(\beta) \cong \begin{cases} 1 \dots 0 \leq \omega \leq 1/K^2 \\ K\sqrt{\omega} \dots 1/K^2 \leq \omega < \infty \end{cases} \quad (3.32)$$

$$\psi(\beta) = \begin{cases} K^4 \cdot \omega^2 / 4 \dots 0 \leq \omega \leq 4/K^2 \\ 2K\sqrt{\omega} \dots 4/K^2 \leq \omega < \infty \end{cases}$$

unde:

$$K = \beta / \sqrt{\omega} = b \sqrt{\frac{\mu_0}{2\rho} \frac{Q \cdot N}{h_f}}$$

În concordanță cu specificațiile de la relația (3.25) și rezistența de la bornele secundare ale transformatorului de sudură, funcție

de pulsația ω , pot fi scrise analog funcțiilor $\varphi(\beta)$ și $\psi(\beta)$.

$$R(\omega)/R(0) \approx \begin{cases} 1 \dots 0 \leq \omega \leq 1/(K')^2 \\ K'\sqrt{\omega} \dots 1/(K')^2 \leq \omega < \infty \end{cases} \quad (3.33)$$

$$R(0) \approx 1,03 \frac{h^2 \cdot \rho}{c(h_f)^2} \sin \frac{\bar{J} \cdot h_f}{2h} \cdot \frac{1}{\text{th} \frac{\bar{J} a}{2h}}$$

unde:

$$K' = 0,447 \sqrt{\frac{\mu_0}{\rho} \cdot \frac{c}{Z}}$$

h, c, Z, a, h_f și Δ - dimensiuni date în figura 3.16.

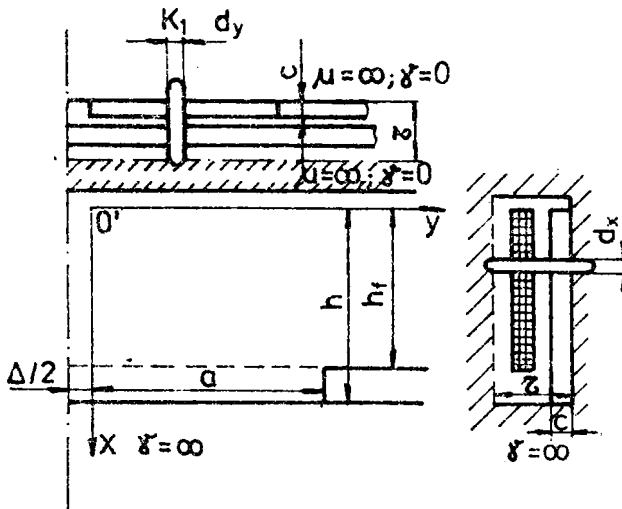


Fig. 3.16. Element de bobină

Calculule prezentate sînt valabile în ipoteza că raportul curenților I_f/I_p , în relația (3.31), nu depinde de frecvență, iar $\cos \gamma = \pm 1$. În cazul bobinelor disc și nesimetrice, distribuția curentului din secțiunea spirei secundare depinde de frecvență, mai ales în domeniul frecvențelor joase. Pierderile suplimentare, după metoda prezentată se va face separat, pentru cele trei cazuri; impuls periodic amortizat; impuls aperiodic și impuls cu atenuare critică /48;75/.

Cazul I Atenuare critică - curentul de sudare este dat de relația (3.34)

Variațiile reale și aproximative ale funcțiilor $\varphi(\beta)$ și $\psi(\beta)$, precum și dependența de $K'\sqrt{\omega}$, a rezistenței la bobinele unei secțiuni secundare, sînt date în figurile 3.17 și 3.18- Cu linie continuă sînt indicate variațiile reale, iar cu linie punctată, variațiile aproximative

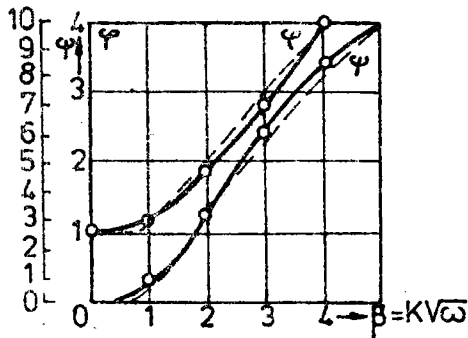


Fig.3.17. Dependenta φ și ψ funcție de β

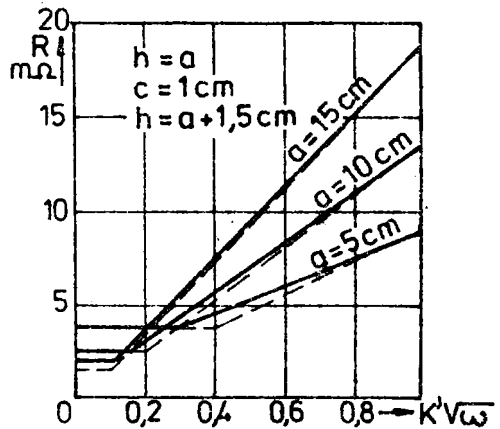


Fig.3.18. Dependenta rezistenței R de $K'\sqrt{\omega}$.

$$i_2 = I_m \cdot e^{-mt} \quad (3.34)$$

unde:

$I_m = \frac{U_s}{L_s \cdot K}$, iar densitatea spectrală a curentului este:

$$i(\omega) = \frac{I_m}{m + j\omega} \quad (3.35)$$

Pătratul modulului funcției - (3.35) este $|i(\omega)|^2 = \frac{I_m^2}{m^2 + \omega^2}$, iar după relațiile (3.29) și (3.30), factorul de pierdere K_p se calculează cu relația (3.36):

$$K_p = \frac{1}{\pi} \int_0^{+\infty} \frac{1}{e^{-mt}} dt \cdot \left[\int_0^{1/k^2} \frac{d\omega}{m^2 + \omega^2} + \int_{1/k^2}^{+\infty} \frac{K\sqrt{\omega} \cdot d\omega}{m^2 + \omega^2} + \right. \\ \left. + A \left[\int_0^{4/k^2} \frac{K^4 \omega^2 \cdot d\omega}{m^2 + \omega^2} + \int_{4/k^2}^{+\infty} \frac{2K\sqrt{\omega} \cdot d\omega}{m^2 + \omega^2} \right] \right] \quad (3.36)$$

După integrare și transformare, se obține K_p ca număr a doi termeni, relația (3.37).

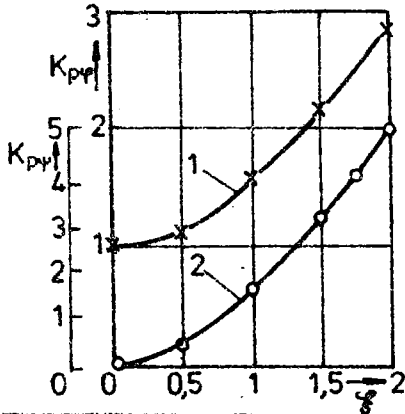
$$K_p = K_{p\varphi} + AK_{p\psi} \quad (3.37)$$

unde :

$K_{p\psi}$ și $K_{p\varphi}$ coeficienți de pierderi și sînt funcții de variabila ξ , astfel :

$$\xi = K \sqrt{m} = b \sqrt{\frac{\mu_0}{2f} \cdot \frac{a_c \cdot N}{hf}} \quad (3.38)$$

Pentru ușurarea calculului s-a trasat graficele de variație ale lui K_{pp} și $K_{p\psi}$, funcție de ξ prezentate în figura 3.19.



Cazul II. Impuls aperiodic, curentul de sudare este dat de relația (3.39)

$$i_2 = C(e^{-p_1 t} - e^{-p_2 t}) \quad (3.39)$$

Densitatea spectrală a curentului este :

$$i_2(\omega) = C \left(\frac{1}{p_1 + j\omega} - \frac{1}{p_2 + j\omega} \right) \quad (3.40)$$

unde:

$$C = \frac{U_c}{K \cdot L_s (p_1 - p_2)}$$

Fig.3.19. Dependența funcțiilor K_p de ξ la $i_2 = I_m e^{-mt}$.

1- $K_{pp} = f(\xi)$ și 2- $K_{p\psi} = g(\xi)$.

În continuare se determină $|i_2(\omega)|^2$

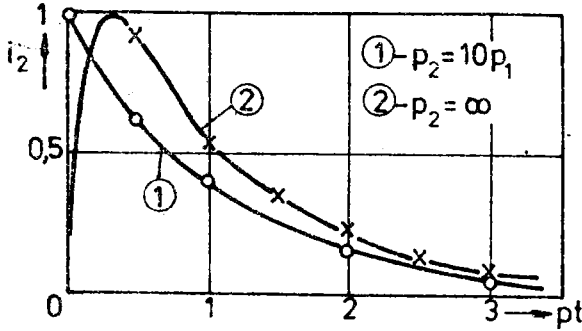
și după calculele corespunzătoare cazului I, rezultă expresia(3.41)

$$K_p = K_p(\xi_2) \frac{p_1}{p_1 - p_2} - K_p(\xi_1) \frac{p_2}{p_1 - p_2} \quad (3.41)$$

unde:

$$\xi_1 = b \sqrt{\frac{u_0 \cdot p_1}{2 \cdot f} \cdot \frac{a_c \cdot N}{hf}} \quad \text{și} \quad \xi_2 = \sqrt{\frac{u_0 \cdot p_2}{2 \cdot f} \cdot \frac{a_c \cdot N}{hf}}$$

$K_p(\xi_1)$ și $K_p(\xi_2)$ sînt coeficienți de pierderi, determinați după relația (3.37) pentru $\xi = \xi_1$, respectiv $\xi = \xi_2$. Analizînd relația (3.41), rezultă că panta frontului anterior a unei de curent exercită o mare influență asupra pierderilor suplimentare. După /75/ și /48/ pentru $\xi_1 = 4$ și $p_2 = \infty$, respectiv curent de magnetizare zero, rezultă $K_p = K_{p\psi} = 1,21$, iar $p_2 = 10 p_1$ și $K_p = 1,02$. Din acest exemplu, se constată că o aplatizare relativ mică a frontului anterior a unei de curent, figura 3.20, reduce pierderile suplimentare de cca 10 ori. Această particularitate trebuie considerată în aproximarea curbelor de curent, pentru a se evita erorile deosebit de mari, la interpretarea fenomenului respectiv.



Cazul III. Impuls periodic amortizat, curentul de sudare este dat de relația (3.42):

$$i_2 = C \cdot e^{-mt} \cdot \sin \cdot nt \quad (3.42)$$

unde:

$$C = \frac{U_c}{K \cdot L_s \cdot n}$$

Fig.3.20. Dependenta curentului $i_2 = f(pt)$.

Coeficienții de pierderi K_p și

$K_{p\psi}$ pentru cazul III sînt reprezentați grafic în figura 3.21 în funcție de mărimile adimensionale ξ și χ dat de relația (3.43).

$$\xi = K \sqrt[4]{n^2 + m^2} \quad \text{și} \quad \chi = \frac{m}{\sqrt{n^2 + m^2}} \quad (3.43)$$

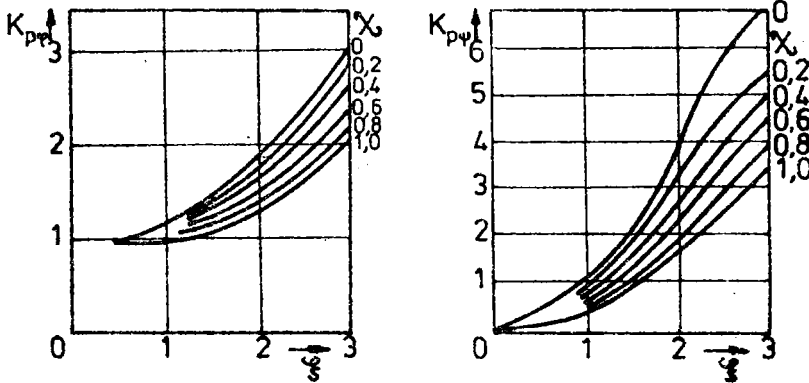


Fig.3.21. Dependenta functiei K_p de ξ : avînd parametru pe χ :
a- functia $K_{p\psi} = f(\xi)$ și b - functia $K_p = f(\xi)$

După cum rezultă și din graficile 3.19, coeficientul de pierderi, K_p , are valoarea cea mai mare în cazul unei descărcări periodice neamortizate ($\chi = 0$) și respectiv valoarea cea mai mică pentru $n=0$, adică $\chi = 1$.

3.2.2.4. Determinarea duratei relative de funcționare a transformatorului de sudare.

Durata relativă de funcționare DA a transformatorului de sudare se determină în baza observațiilor de la punctul 2.1.3. în varianta că numărul maxim de cicluri pe minut poate să fie 30, iar

regimul de lucru este de tip RI, relația (3.44) :

$$DA = \frac{t_s}{t_c} \cdot 100 \quad [\%] \quad (3.44)$$

unde :

t_s - timpul de sudare (timpul de descărcare al bateriei de condensatoare);

t_c - timpul unui ciclu.

În urma calculelor efectuate și în urma studiilor și experimentărilor făcute, s-a constatat că timpul de descărcare al unei baterii de condensatoare de capacitate mare 50.000-100.000 μF , variază între 10 și 35 milisecunde. Considerîndu-se că la două secunde se face o sudură, durata de funcționare este :

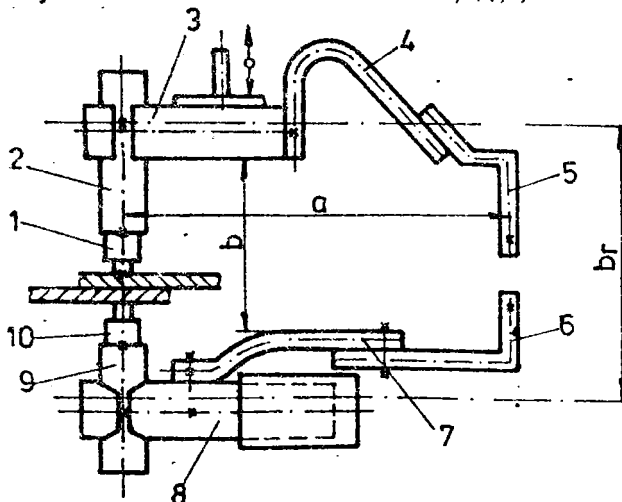
$$DA = \frac{30 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 100 = 1,5 \quad \% \quad (3.45)$$

În calcule se va considera un $DA = 4 \%$, iar puterea de calcul P_c a transformatorului funcție de P_M , relația (3.45) la $DA=4\%$ este dată de relația (3.46):

$$P_c = P_M \sqrt{DA/100} = 54 \text{ KVA} \quad (3.46)$$

3.3. Determinarea circuitului exterior de la modelul experimental MSC-2700

Avînd în vedere că forma constructivă a circuitului exterior, respectiv parametrii acestuia influențează mult curentul de sudare, modelul experimental MSC-2700 a fost realizat în baza unei experiențe existente la catedra UTS /77/, iar circuitul de sudare este



prezentat în figura 3.22. De asemenea, s-a considerat că dimensiunea maximă a tablelor din aluminiu, cupru sau aluminiu cupru ce se pot suda este de 1,5+1,5 mm iar curentul maxim din circuitul de sudare este: de

$$I_{2\max} = 35,9 \text{ KA.}$$

Fig.3.22. Forma circuitului exterior de la mașina MSC-2700: a=275 mm; b= 150 mm.

3.3.1. Optimizarea formei circuitului exterior

Dimensionarea circuitului exterior din figura 3.22, se face ca și pentru o mașină alimentată în curent alternativ la 50 Hz.

a - Electrozii de contact

Electrozii de contact trebuie să conducă curentul electric la piesele care urmează să fie sudate, să transmită presiunea necesară strângerii pieselor și să conducă căldura de la locul de contact. Așa dar, electrozii trebuie să aibă conductibilitate electrică și termică bună, dar în același timp și o rezistență mare la presiune (uzură).

Ca material pentru execuția electrozilor poate fi folosit : cuprul electrolitic tras la rece, un material obținut prin sinterizare (W+Cu și W+Ag), iar mai recent electrozi din cupru-beriliu-crom (3% Be și 5% Cr), respectiv electrozi cupru-crom-zinc (0,8% Cr; 0,3-0,5% Zn). Ca formă constructivă electrozii de la mașinile cu energie înmagazinată, figura 3.23, diferă de cei utilizați la mașinile de sudat electric prin presiune în curent alternativ (STAS 10626/1-81).

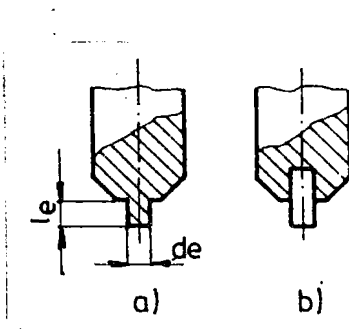


Fig. 3.23. Electrozi de contact pentru mașinile de sudat prin presiune cu energie înmagazinată în condensatoare.

La mașinile cu energie înmagazinată, se utilizează electrozi din Cu-Be-Cr, dintr-o singură piesă, figura 3.23.a, sau cu vârful presat, figura 3.23.b și suprafața plană. Lungimea și diametrul vârfului de lucru se dimensionează, fie în funcție de forța de presare și cantitatea de energie cheltuită la sudare, fie după relația

$$d_e = 2 \cdot s + 3,0 \text{ mm} \quad (3.47)$$

unde:

- d_e - diametrul la vârful electrodului în [mm];
- s - grosimea unei table ce se sudază în [mm].

Raportul între lungimea de la vârful cilindric al electrodu-
lui și diametrul său "de", trebuie să fie în anumite limite, re-
lația 3.48, astfel încât electrozii să aibă stabilitate la sudare.

$$Le/de = 2... 2,5 \quad (3.48)$$

b. Portelectrozi

Portelectrozii de la modelul experimental MSC-2700 sint con-
fecționați din cupru electrolitic și prin ei se transmite la
electrozi, atât forța de presare cât și curentul de sudare.
Secțiunea portelectrozilor 2 și 9 din figura 3.22 se calculează
cu relația :

$$S_{cu_{2,9}} = \frac{I_c}{j_{cu}} \quad [mm^2] \quad (3.49)$$

unde:

I_c - curentul de calcul în [A] .

$j_{cu} = (2,2...2,5)A/mm^2$ densitatea de curent admisă în bare
sau benzi răcite în aer.

Curentul de calcul I_c se determină funcție de DA, de curentul no-
minal, cu relația (3.50)

$$I_c = I_{2M} \sqrt{DA/100} \quad (3.50)$$

unde:

DA - durata relativă de funcționare în[%].

6. Baréle și legăturile flexibile

Elementele 3,4,5,6,7 și 8 care împreună cu electrozi și
portelectrozi, formează circuitul exterior se dimensionează cu
relațiile (3.50) și (3.51); lungimea lor rezultând constructiv.

3.3.1.1. Determinarea rezistenței circuitului exterior

Rezistența circuitului exterior este o sumă de rezistențe și se
calculează cu relația (3.51) :

$$R_e = \sum R_{cei} = (R_{cei} + n \cdot r_c) \cdot \beta_e + R_p \quad [\mu\Omega] \quad (3.51)$$

unde:

$r_c = 2 \mu\Omega$ - rezistența de contact între elemente ;

$n = 10$, numărul rezistențelor de contact figura (3.20);

$\beta_e = 1,15...1,5$ - factor de majorare a rezistenței în
curent alternativ;

$R_{cei} = \frac{\rho_i \cdot l_i}{S_i}$ - rezistența elementului "i";

$$R_p = \frac{\rho_p \cdot s}{4 \cdot de^2} Z^2 - \text{rezistența pieselor ce se sudează};$$

ρ_1 și ρ_p - rezistivitatea materialului, tabelul 3.6;

$Z = 5$ - factor de majorare a rezistenței cu temperatură;

$de = 5$ mm - diametrul electrodului la vîrf.

Tabelul 3.6.

Nr. crt	Material	ρ [$\mu\Omega \cdot \text{cm}$]	Nr. crt.	Material	ρ [$\mu\Omega \cdot \text{cm}$]
1	Cupru electroli- tic laminat	2,0	4	Bronz	5,0
2	Cupru-crom turnat	2,5	5	Oțel	15
3	Alamă	10	6	Aluminiu cond.	4

Calculul rezistenței elementelor 3,...,8 este făcut pentru circuitul exterior din figura 3.20, iar rezultatele sînt prezentate în tabelul 3.7.

Tabelul 3.7.

Nr. elem.	Denumirea elementului	Material	ρ_i [$\mu\Omega \cdot \text{cm}$]	l_i [cm]	S_i [cm ²]	$V_i = l_i \cdot S_i$ [cm ³]	$R_{cei} = \rho_i \cdot l_i / S_i$ [$\mu\Omega$]
1	Electrod superior	Cu-Cr	2,5	1,0	0,196	0,196	12,75
2	Portelectrod sup.	Cu.	2,0	11,0	7,0	77	3,142
3	Braț superior	Cu-E	2,0	14,0	24,0	336	1,166
4	Element flexibil	Cu-E	2,0	24,0	18,0	432	2,666
5	Bară legătură rup.	Cu-E	2,0	10,0	5,4	54	3,703
6	Bară legăt. inf.	Cu-E	2,0	10,0	5,4	54	3,703
7	Element flexibil	Cu-E	2,0	25,5	8,0	204	6,375
8	Braț inf.	Alamă	10	415	38,48	173,16	1,169
9	Portelectrod inferior	Cu-E	2,0	8,0	7,0	56	2,285
10	Electrod inferior	Cu-Cr	2,5	1,0	0,196	0,196	12,75
11	Σ	-	-	109	-	1386,552	49,709

Rezistența piesei R_p , pentru grosimea pieselor de 1,0 mm, în

cazul cînd se sudează; aluminiu, cupru, sau oțel, este dată în relația (3.52):

$$R_{Al} = 20,36 \mu\Omega; R_{Cu} = 10,18 \mu\Omega \text{ și } R_{OL} = 76,35 \mu\Omega. \quad (3.52)$$

Intrucît, modelul experimental a fost conceput pentru sudarea prin presiune în puncte cu energie înmagazinată tablă din aluminiu, rezistența circuitului exterior se va determina pentru această situație și are valoarea : $R_e = 110,981 \mu\Omega$.

3.3.1.2. Determinarea reactanței circuitului exterior

Circuitul exterior din figura 3.20, formează o buclă ale cărei capete sînt racordate la bornele secundare ale transformatorului de sudare iar reactanța acestora se poate calcula cu relația(3.53)

$$X_e = \omega \cdot L \cdot 10^2 \quad [\mu\Omega] \quad (3.53)$$

unde:

$$\omega = 2 \cdot \pi \cdot f,$$

$$L = \phi_e / I_2$$

Reactanța a fost calculată după o metodă dată în lucrarea /58/; în care bucla se consideră plasată în aer (se neglijează prezența maselor magnetice), iar circuitul real a fost echivalat cu un circuit simplu, de formă dreptunghiulară, în care suprafețele sînt identice. După metoda respectivă s-a determinat o deschidere a circuitului echivalent, notată cu "br" și egală cu 20 cm. Se calculează apoi, corespunzător lui "br", cota de lungime notată cu "ar" și o rază echivalentă "C", cu relațiile (3.54) și (3.55).

$$a_r = \frac{L}{2} - b_r \quad [\text{cm}] \quad (3.54)$$

$$\text{unde: } C = 0,564 \sqrt{V/L} \quad [\text{cm}] \quad (3.55)$$

$$L = \sum l_i = 109 \text{ cm, iar } a_r = 34,5$$

$$V = \sum v_i = 1386,562 \text{ cm}^3, \text{ iar } C = 2,011$$

Se calculează rapoartele: a_r/b_r și a_r/C , și din nomograma prezentată în figura 3.24, se determină un coeficient notat cu \mathcal{E} . Rapoartele a_r/b_r și a_r/c sînt : $a_r/b_r = 1,725$; $a_r/c = 17,155$
 $\mathcal{E} = 3,6$, iar reactanța circuitului exterior va fi dată de relația (3.56):

$$X_e = \mathcal{E} \cdot a_r \quad [\mu\Omega] \quad (3.56)$$

și este:

$$X_e = 3,6 \cdot 34,5 = 124,2 \quad [\mu\Omega]$$

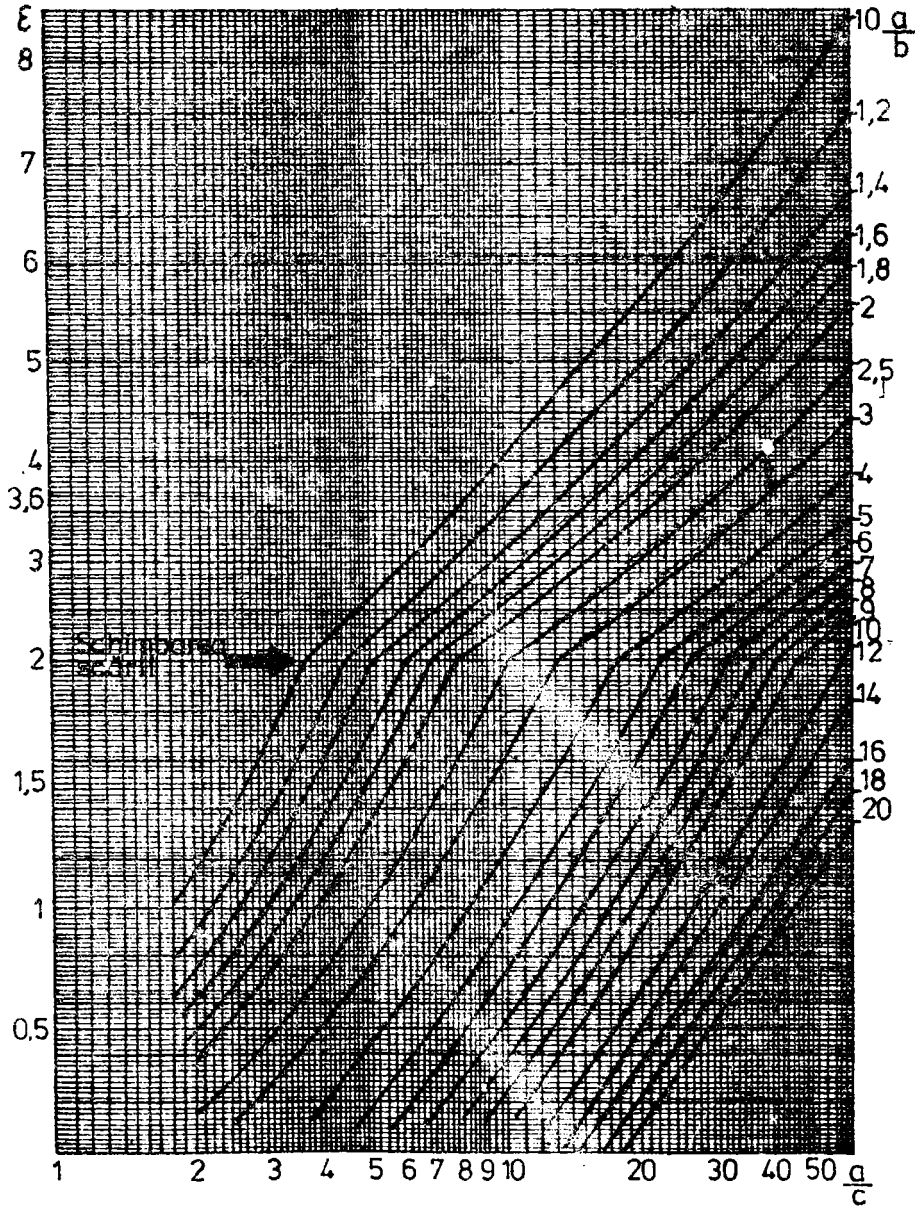


Fig.3.24. Nomogramă pentru determinarea coeficientului ϵ în funcție de : a/b și a/c .

3.3.2. Determinarea impedanței circuitului exterior.

Schema echivalentă a transformatorului de sudare și a circuitului exterior, prezentată în figura 3.11, arată că pe circuitul exterior căderea de tensiune U_e este :

$$U_e = Z_e \cdot I_2 \quad [V] \quad (3.57)$$

unde :

$$Z_e = \sqrt{R_e^2 + X_e^2} = 66,56 \cdot 10^{-6} \Omega ;$$

și

$$I_2 = 35,9 \text{ KA.}$$

Cu aceste valori căderea de tensiune $U_e = 5,896 \text{ V}$.



Fig.3.25. Ansamblul circuitului exterior de la modelul MSC-2700

a fost executat după datele calculate și este prezentat în figura 3.25. Se văd detaliat electrozii și portele electrozii cu brațul inferior. De asemeni se remarcă sistemul de acționare al electrozului superior și legăturile flexibile.

3.4. Date constructive ale transformatorului de sudare de la modelul MSC-2700

Transformatorul de sudare a fost dimensionat la o putere nominală $S_{1\text{max}} = 93,5 \text{ KVA}$; cu curent nominal secundar $I_2 = 35,9 \text{ KA}$ și tensiunea secundară $U_{2\text{omax}} = 10 \text{ V}$ și tensiunea pe condensatori $U_c = 300 \text{ V}$.

Tensiunea la bornele transformatorului, $U_{2\text{omax}}$ se calculează cu relația (3.58).

$$U_{2\text{omax}} = U_e (1 + 0,5 \cdot j_{1F} \cdot \sqrt{w_2 / U_e \cdot DA}) \quad [V] \quad (3.58)$$

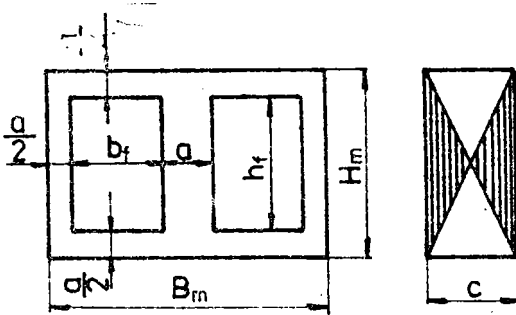
unde:

$j_{1F} = (3,37 \dots 4,2) \text{ A/mm}^2$ - densitatea de curent în cazul transformatoarelor cu miezul în manta ;

$w_2 = 1$ - numărul de spire secundare;

$DA = 4\%$ rezultând pentru $U_{2\text{omax}}$ o valoare de $8,329 \text{ V}$
 $U_e = 5,896 \text{ V}$.

Ansamblul circuitului exterior



Calculul electric și magnetic al TS s-a făcut după mai multe metode :

În lucrare sînt date dimensiunile și caracteristicile transformatorului executat pentru modelul MSC-2700, după varianta prezentată la punctul 3.2.2. Miezul transformatorului este de tipul prezentat în figura 3.26 cu înfășurările plasate pe coloana centrală.

Fig.3.26.Miezul magnetic al transformatorului de sudare de la MSC-2700

Secundarul este format dintr-o singură spirală, cu trei discuri,

iar înfășurarea primară este formată din patru bobine. Caracteristicile transformatorului de sudare sînt prezentate în tabelul 3.8.

Tabelul 3.8

	U_c [V]	U_{2omax} [V]	W_{lmin}	W_{lmax}	W_2	S_{Fe} [cm ²]	a_{Fe} [cm]	C_{re} [cm]
Valori	300	10	15	60	1	252	14	18
Param.	l_{cu1} [mm ²]	l_{cu2} [mm ²]	h_{fe} [mm]	b_{fe} [mm]	B_m [mm]	H_m [mm]	R_2 [μΩ]	R_1 [μΩ]
Valori	2x27,6	3x800	215	87,5	430	355	16,1	30722,5
Param.	R_1 [μΩ]	R_{sc} [μΩ]	X_{sc} [μΩ]	R_t [μΩ]	X_t [μΩ]	M_{Fe} [kg]	M_{cu} [kg]	M_t [kg]
Valori	12,289	28,389	20,97	139,37	145,17	193,15	22,69	215,84

Transformatorul de sudare nu s-a verificat la încălzire din motivele prezentate la paragraful 3.2.1.

Ansamblul transformatorului de sudare cu sistemul de reglare este prezentat în figura 3.26.

3.5. Schema de reglare a raportului de transformare în variantă optimizată

Reglare în trepte a tensiunii secundare se face prin modificarea raportului de transformare "K" al transformatorului de sudare, mai precis prin modificare numărului de spire din înfășurarea primară a acestuia.

În vederea realizării acestei reglări, în literatura de specialitate /64,79,80,81,82/ sînt recomandate o serie de scheme a căror reglare se face în concordanță cu anumite legi de reglare. Întrucît transformatorul de la modelul MSC-2700 este destinat să funcționeze în anumite condiții și pentru anumite deziderate, s-a dispus creșterea raportului de reglare de la doi în mod obișnuit, la patru, adică raportul între $w_{lmax}/w_{lmin} = 4$, respectiv nu se respectă în totalitate dispunerea bobinelor primare pe discurile secundare. Astfel transformatorul are trei discuri secundare și numai patru bobine, figura 3.27. Cele patru bobine au un număr egal de spire (15 spire/bobine), rezultînd următoarele rapoarte de transformare : 15; 30; 45 și 60. Conectarea bobinelor primare în serie, paralel sau în serie și paralel este arătată în figu-

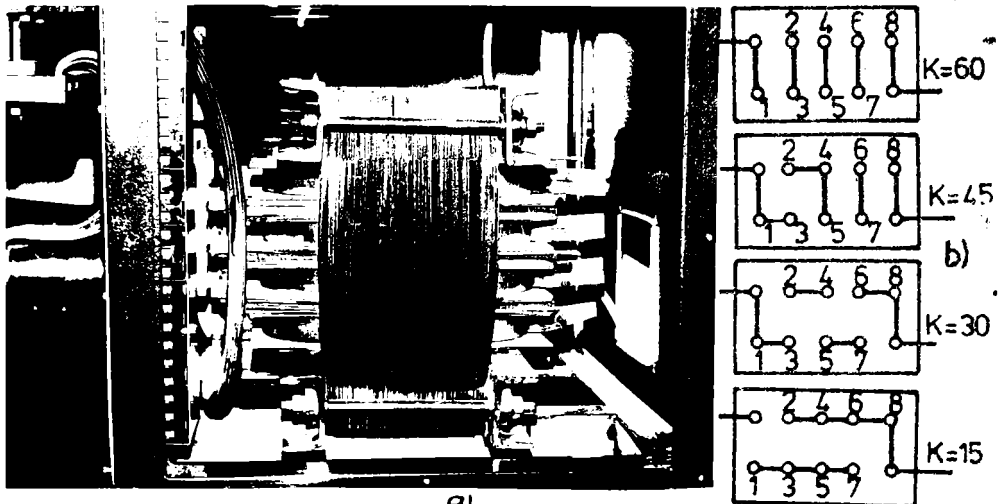


Fig.3.27. Ansamblul TS ^{a)} de la modelul MSC-2700; și sistemul de reglare: a- ansamblu; b- placă de borne

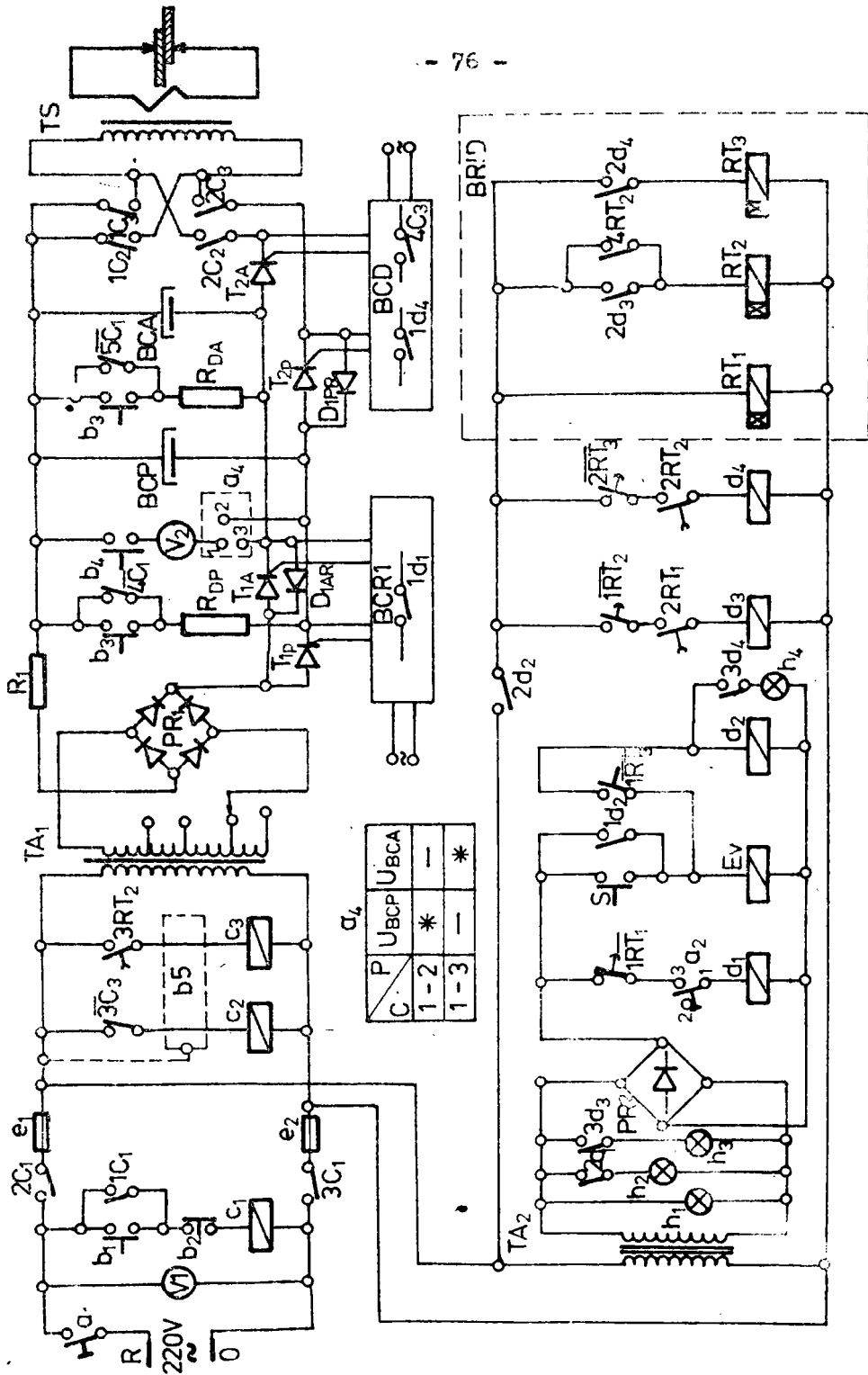


Fig. 3.28. Schema electrică a modelului experimental MSC-2700

3.6. Schema electrică și de acționare a modelului experimental MSC-2700

Schema electrică de la modelul experimental MSC-2700 este prezentată în figura 3.28. Această schemă este rezultata unui studiu privind tehnologia de sudare, productivitatea, procedeul pe de o parte, și din posibilitățile de execuție în cadrul catedrei UTS, pe de altă parte. Se remarcă în schemă cele două circuite : unul de forță, format din elemente necesare sudării propriu-zise, iar altul de comandă, format din releele executive care asigură ciclul de sudare. Aceste elemente sînt montate într-un sertar, figura 3.29.

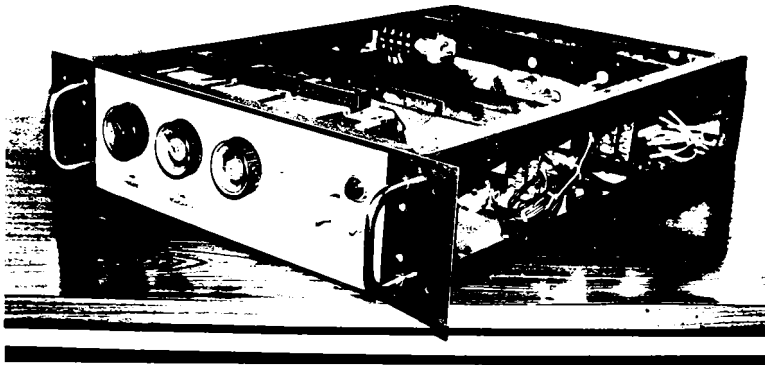


Fig.3.29. Sertarul de comandă de la modelul MSC-2700

Elementele cu care s-a realizat schema de comandă sînt date în tabelul 3.10. Schema electrică permite realizarea unor cicluri de sudare cu impuls de curent pentru preîncălzire și fără impuls de preîncălzire. Pentru comanda încălzirii condensatoarelor din cele două baterii s-a realizat blocul electronic notat în schemă cu BCRI, iar pentru descărcarea condensatoarelor prin transformatorul de sudare, s-a realizat blocul BCD.

Tabelul 3.10

Nr. crt.	Denumirea elem.	Cod sau STAS	Nr. buc.	Nr. crt.	Denumirea elem.	COD sau STAS	Nr. buc.
1.	Siguranța loa		2	16	Distribuitor Ev	DN-16	1
2.	Intrerupător cu cheto a_1	7207-76	1	17	Relee intern. RI-43	RS-7260	2
3.	Voltmetru c.c. IBQ de 250	72	1	18	Relee de timp	RT _{pa} -7	3
4.	Butoane b_1, b_2, b_3, b_4	7207-76	4	19	Punte redresoare	3PM-6 2084	1
5.	Contactoare C_1, C_2 și C_3 RG-63A	8170	3	20	Voltmetru c.c. 400 V	4640-74	1
6.	Comutator C_5	MTR 666-80	1	21	Rezistență Rd	50	2
7.	Transformator auxiliar	220/300 și 2KVA	1	22	Siguranțe 6 A		2
8.	Punte redresoare PR ₁	KS-1160R	4	23	Buton comandă (pedale)	Autodotare	1
9.	Tiristoare T _{1A} și T _{1p}	T 58	2	24	Lamă de semnalizare	24V, 2W	4
10.	Tiristoare T _{2A} și T _{2p}	T 20800	2	25	Comutator trepte K ₁	Autodotare	1
11.	Rezistență R ₁	6,06 20 A	1	26	Priză 500V loa	Autodotare	1
12.	Baterie de cond. prin.	BCP-63500pF	1	27	Intrerupătoare pt. BC	AMRO 4480-70	8
13.	Baterii de cond. aux.	BCA-38500pF	1	28	Relee in- term. AC220V	PTC-A 208 MB	2
14.	Transformator de sudare	Autodotare	1	29	Diode DIAR și DIPR	RAPIDE	2
15.	Transformator auxiliar TA ₂	TMA220/24 NID 2313-8	1	30			

3.6.1. Schema electrică a blocului BCRI.

Pentru reglarea tensiunii de încărcare a condensatoarelor din bateria principală și auxiliară s-a executat pentru modelul MSC-2700 un dispozitiv electronic a cărei schemă de principiu este prezentată în figura 3.30.

Schema este executată atât ca și dispozitiv de încărcare a bateriilor de condensatoare, cât și ca stabilizator de tensiune.

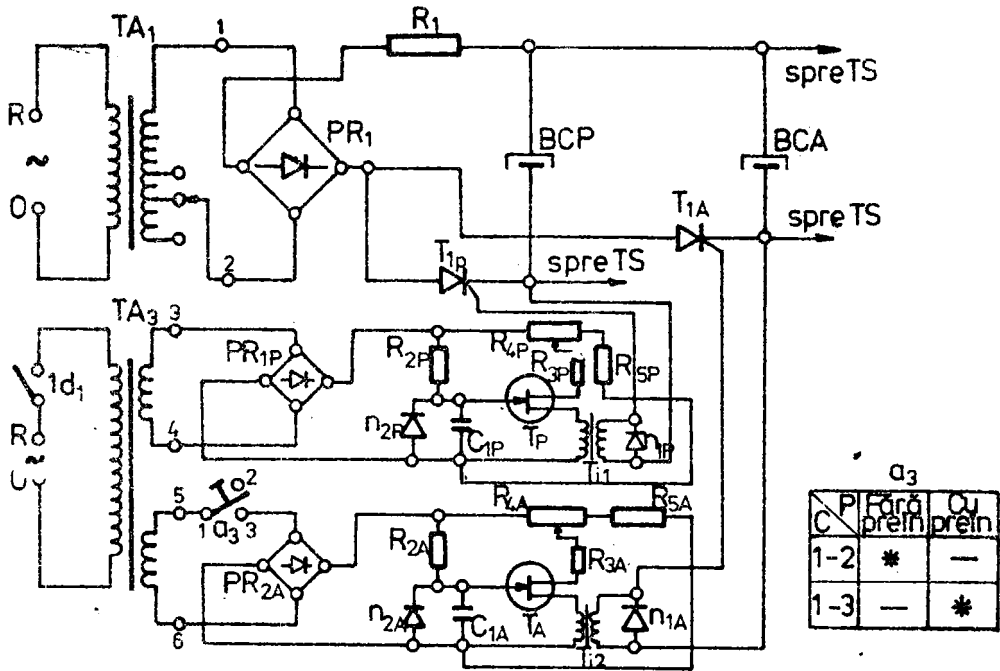


Fig.3.30. Schema de principiu a dispozitivelor de încărcare a bateriilor BCP și BCA de la modelul MSC-2700.

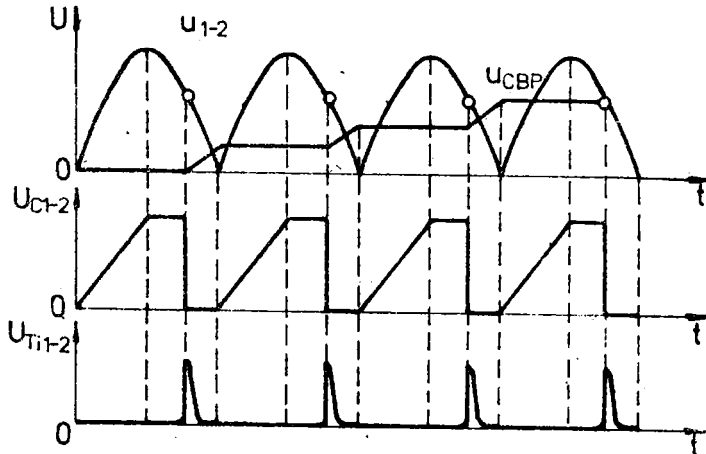
Astfel prin închiderea contactului $1d_1$ și a comutatorului a_2 , se realizează emiterea prin transformatoarele de impuls T_{11} , T_{12} în fiecare semiperioadă, a unui semnal de comandă la tiristoarele de încărcare T_{1A} și T_{1p} . Deschiderea tiristoarelor și încărcarea condensatoarelor din BCP și BCA, are loc înainte ca tensiunea pe ele să devină **egală** cu o anumită valoare momentană (prescrisă) a tensiunii de pe ramura descendentă de la sinusoidă, figura 3.31. Modificându-se valoarea momentană a tensiunii de aprindere a tiristoarelor T_{1p} și T_{1A} , se poate regla tensiunea de încărcare a condensatoarelor, tensiune dată de relația (3.4) :

$$U_{CBP(BA)} = \frac{U_{1-2} \cdot U_{CAP(A)}}{K \cdot \eta \cdot U_{3-4(5-6)}} \quad (3.61)$$

unde:

- U_{1-2} ; U_{3-4} ; U_{5-6} - tensiunile la bornele: 1-2; 3-4; 5-6;
- K - coeficient de reglare a tensiunii pe divizorul R_4-R_5 ($K < 1$);
- $U_{cp(A)}$ - tensiunea pe condensatorul C_{1p} sau C_{1A} ;
- η - randamentul încărcării

$$U_{CBP(BA)} \leq U_{1-2} \cdot \sqrt{2}, \text{ iar pentru } K=1 \text{ rezultă } U'_{CBP(BA)} \leq U_{CBP(BA)}$$



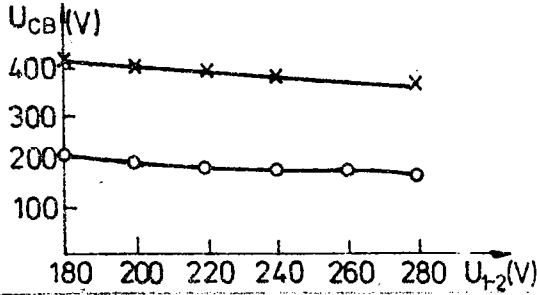
Incărcarea condensatoarelor C_{1p} sau se realizează în fiecare semiperioadă, prin R_{2p} sau R_{2A} în cca $(4...5)10^{-3}$ secunde și în mod corespunzător se modifică tensiunea pulsatoare redresată la bazele tranzistoarelor unijuncționale T_p sau T_A . Valoarea maximă se

Fig. 3.31. Variația tensiunilor $U_{CBP(BA)}$; U_{C1-2} și $U_{T11,2}$ în timp la încărcarea bateriilor de condensatoare.

stabilește prin divizorul de tensiune $R_{4p}-R_{5p}$ sau $R_{4A}-R_{5A}$ iar deschiderea tiristoarelor T_{1p} și T_{1A} are loc pe ramura descendentă a sinusoidelor în momentul când tensiunea de la bază va deveni mai mică decât mărimea determinată de tensiunea stabilizată pe diodele n_{2p} sau n_{2A} (cca 10V), respectiv de randamentul η pe direcția tranzistorului T_p sau T_A . În acest moment condensatoarele C_{1p} respectiv C_{1A} , se descarcă peste înfășurarea primară a transformatoarelor de impuls T_{11} respectiv T_{12} , iar în secundarul acestora se formează un impuls de tensiune $U_{T11,2}$ care deschide tiristoarele T_p , respectiv T_A . Acest moment se reglează prin rezistența R_{4p} , respectiv R_{4A} . Impulsurile de deschidere sînt comandate pe electrodul de comandă al tiristoarelor T_p și T_A , în fiecare semiperioadă la una și aceeași valoare momentană.

O particularitate a schemei o constituie nu numai simplitatea reglării, ci și siguranța în exploatare deoarece nu este legată electric de partea de forță a mașinii.

Precizia stabilizării dispozitivului de încărcare, determinată experimental de autor, prin dependențele dintre tensiunea de încărcare U_{CBP} sau U_{CBA} , de tensiunea U_{1-2} , figura 3.32 nu este mai mică de 2% , ca variația a tensiunii de alimentare de la 200 la 240 V.

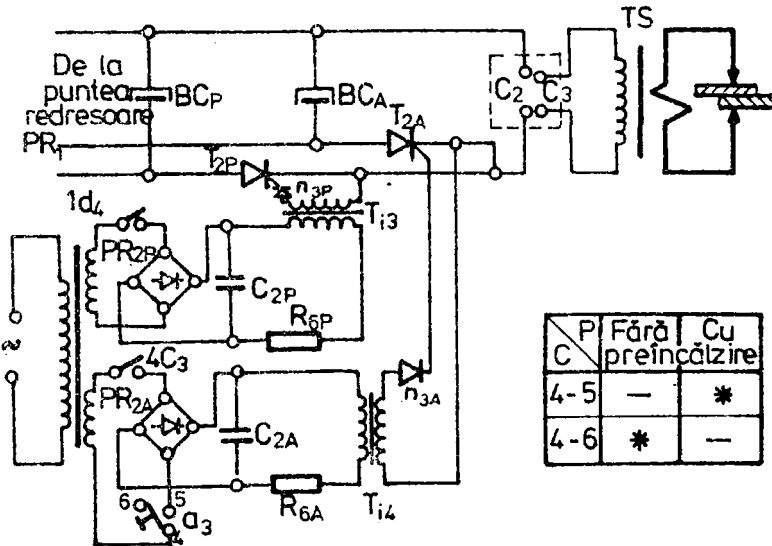


Se observă că încărcarea se realizează pînă la o tensiune maximă de $\sqrt{2} U_{1-2}$, pentru care s-a prevăzut în schemă un transformator ridicător de tensiune TA₁ de 220/300 V.

Fig.3.32. Variația tensiunii de încărcare pe bateria principală sau auxiliară U_{CB}, funcție de tensiunea U₁₋₂.

3.6.2. Schema electrică a blocului BCD.

În vederea descărcării condensatoarelor din bateriile principale, respectiv secundară prin transformatorul de sudare, este necesar comanda de deschidere a tiristoarelor de putere T_{2p} și T_{2A}. Această comandă, trebuie să fie corelată cu un semnal sau de blocare, a tiristoarelor T_{4p} și T_{1A}, fiind asigurat de circuitul BRID (figura 3.28). Întrucît la descărcarea condensatorilor prin transformatorul de sudare, toată energia trebuie consumată în prima, alternanță, se consideră că nu mai este necesar utilizarea unor



scheme reglabile a descărcării și de aceea pentru comanda tiristoarelor s-a ales un circuit simplu, prezentat în figura 3.33, și ale cărui elemente sînt date în tabelul 3.11

Fig.3.33. Schema de principiu a dispozitivului de comandă a descărcării condensatoarelor BCP și/sau BCA prin transformatorul de sudare.

Tabelul 3.11

Nr. crt. elementului	Denumirea sau STAS	COD	Nr. buc.	Nr. crt. elementului	Denumirea sau STAS	COD	Nr. buc.
1.	Transformator auxiliar TA ₃ și TA ₄	Executa-tă la cat.	2	8.	Rezistențe: R _{3p} și R _{3A}	470 Ω	2
2.	Punte redresoare PR _{1p} și PR _{1A}	3pM - B2084	4	9.	Condensatoare: C _{1p} și C _{1A}	100nF / 100V	2
3.	Rezistență: R _{2p} ; R _{2A}	68 KΩ	2	10.	Rezistențe: R _{5,6p} și R _{5,6A}	470	4
4.	Diode: n _{1p} și n _{1A}	1N4007	2	11.	Condensatoare C _{1p} și C _{1A}	500nF / 10V	2
5.	Tranzistor: T _{1p} ; T _A	2N2646	2	12.	Diode n _{2p} și n _{2A}	Z4x16	2
6.	Transformator impuls	pe oale ferite	4	13.	Punte redresoare P _{2p} - P _{2A}	18Mo5	2
7.	Rezistențe reglabilei R _{4p} și R _{4A}	100 KΩ	2	14.	Diode n _{3p} și n _{3A}	1N4001	2

3.6.3. Schema pneumatică de acționare

Schema de acționare, împreună cu schema electrică de comandă, asigură ciclul de funcționare al mașinii de sudat prin presiune cu energie înmagazinată în condensatoare. La proiectarea și alegerea sistemului de acționare (strângere a pieselor), s-a pornit în primul rând de la necesitățile tehnologice, adică asigurarea unei forțe impuse și reglabile de strângere a electrozilor, în vederea executării unei suduri de calitate și numai după aceea s-a luat în considerare și alte elemente, cum ar fi :

- asigurarea unei forțe de strângere constantă ;
- greutatea și gabaritul sistemului pneumatic să fie relativ mică;
- să nu afecteze nociv mediul de lucru ;
- să se preteze foarte ușor la automatizare, etc.

Analizându-se detaliat toate aceste fenomene în lucrările /47; 48;51;61;71/ s-a ales și executat pentru modelul experimental MSC-2700 o schemă de acționare pneumatică, după variantele

cunoscute /127/, figura 3.34 și ale cărei elemente sînt date în tabelul 3.12.

Tabelul 3.12

Nr. crt.	Denumirea elementului	COD	Nr. buc.	Simbol în schemă
1.	Cilindru	11-08-07-00	1	C
2.	Distribuito	10.06.4-16	1	Ev
3.	Drosel	16-3.16	2	DR
4.	Filtru	13-16	1	F
5.	Regulator	17-1.16	1	R
6.	Ungător	14-16	1	u

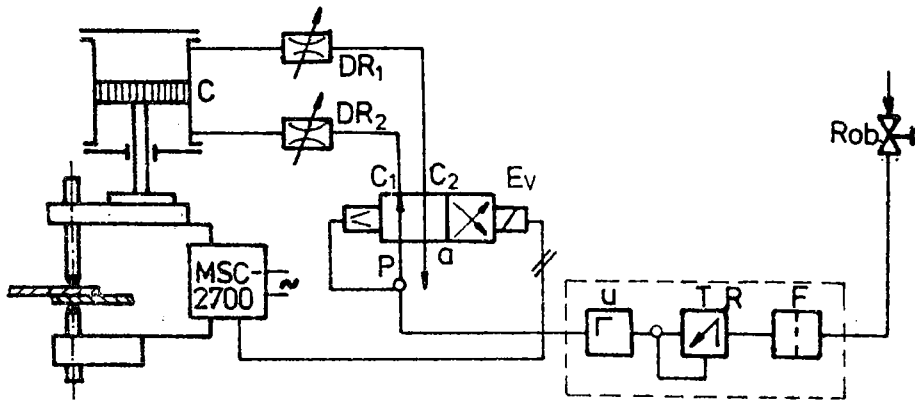


Fig. 3.34. Schema de acționare pneumatică de la mașina MSC-2700

Toate elementele din schemă sînt tipizate, fiind produse în țară la întreprinderea "Independența" Sibiu, sau la întreprinderea de elemente pneumatice din Bistrița Năsăud. Stabilirea forței de stringere a pieselor ce se sudează se face după diagrama prezentată în figura 3.35, funcție de presiunea indicată la manometrul grupului FRU, grup prezentat în figura 3.36.

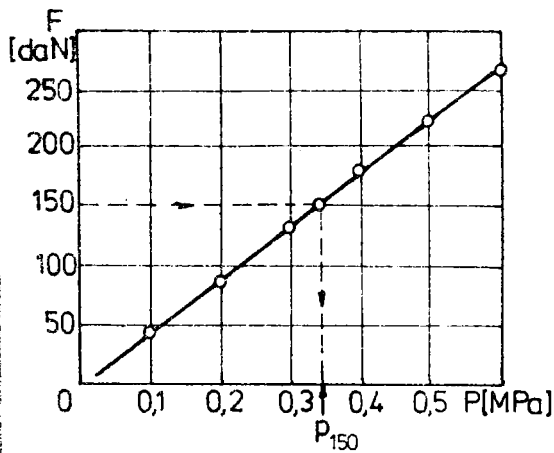


Fig.3.35. Diagrama de variație a forței de strângere F funcție de presiunea aerului comprimat p.

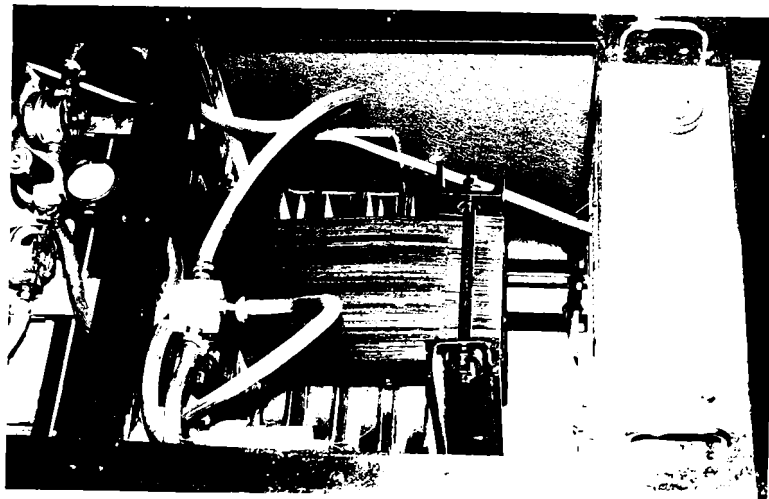


Fig.3.36. Sistemul de reglare a forței de strângere

3.6.4. Ciclurile de sudare la modelul MSC-2700

Ciclurile de lucru asigură realizarea punctelor de sudură cu, sau fără impuls de preîncălzire. Operatorul își poate alege ciclul de sudare, trecând comutatorul u_2 pe pozițiile dorite, adică "CU PREÎNCĂLZIRE", sau "FARA PREÎNCĂLZIRE".

3.6.4.1. Sudarea cu impuls de preîncălzire.

Operațiile premergătoare sudării :

- se fixează prin potențiometrele R_{4p} și R_{4a} nivelul tensiunii pe condensatoarele BCP și BCA;

- se fixează capacitatea condensatorilor din BCP. Aceste două faze permit dozarea exactă a energiei din condensatoarele celor două baterii;
- se trece comutatorul a_3 pe poziția cu "PREINCALZIRE";
- se cuplează ~~mașina~~ la rețea prin acționarea contactului a_1 moment semnalizat de voltmetrul V_1
- se trece comutatorul a_2 pe poziția "CONTROL".

Acționînd butonul b_1 bobina contactorului C_1 este alimentată. Prin $1C_1$ are loc automenținerea contactorului C_1 , iar prin contactele $2C_1$ și $3C_1$ se alimentează simultan.: transformatorul auxiliar TA, și puntea redresoare RRI; contactorul C_2 peste al cărui contacte $1C_2$ și $2C_2$ are loc descărcarea impulsului de preîncălzire și transformatorul TA₂ din circuitul de alimentare al releelor funcționale $d_1-E_v-d_2$. Acest moment este semnalizat de lampa h_1 . Stabilirea forței de presare se face prin reglarea presiunii aerului comprimat la reductorul de presiune R din grupul FRU (figura 3.34) după ce în prealabil s-a acționat pedala de bransare S (a_2 este pe poziția "CONTROL"). În felul acesta, blocul electronic BCD, este scos de sub tensiune și nu permit deschiderea circuitelor de încărcare al condensatoarelor din BCP și BCA. Forța de strîngere se fixează după diagrama din figura 3.35. Tot în această etapă se stabilește prin droselele DR₁ și DR₂ viteza de apropiere, respectiv de ridicare al electrodului superior, respectiv timpii ; t_1 de la releul RT₁, t_2 de la releul RT₂ și t_3 de la releul RT₃.

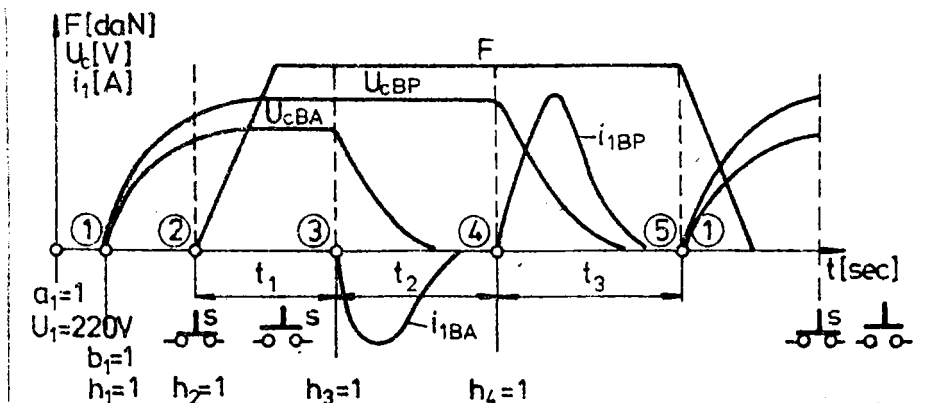


Fig. 3.37. Ciclul de sudare cu impuls de preîncălzire de la mașina MSC-2700.

După realizarea acestor reglări se poate începe sudarea acționându-se succesiv comutatorul a_2 pe poziția "SUDARE" semnalizat prin h_2 și pedala de branșare S. Ciclul de sudare realizat este prezentat în figura 3.37.

Din momentul (1), corespunzător acționării butonului b_1 și până în momentul (2) corespunzător începerii sudării nu s-a prevăzut nici un releu de timp, considerându-se acest interval ca timp de pauză și suficient de mare pentru încărcarea, respectiv reîncărcarea condensatoarelor BCP și BCA. În momentul când se acționează pedala de branșare S, ciclul de sudare se succede automat, timpii: t_1 ; t_2 și t_3 sînt stabiliți prin releele de timp RT_1 ; RT_2 și RT_3 , într-o gamă mare de reglare de la 4...60 secunde :

a - timpul t_1 asigură abîngerea prealabilă a pieselor și este în mod practic de ordinul 4...6 secunde;

b - timpul t_2 asigură descărcarea impulsului de preîncălzire avînd valori practice de la 2...4 secunde ;

- timpul t_3 asigură descărcarea impulsului de sudare și are mărimea lui t_2 .

La finele timpului t_2 , se dă comanda de desfacere a pieselor sudate și reîncercarea condensatoarelor BCP și BCA, relîndu-se astfel un nou ciclu de sudare.

Pentru a se putea urmări și vizual ciclul de sudare s-a montat în circuitul de comandă, trei lămpi de semnalizare comandate tot de releele de timp RT_1 , RT_2 și RT_3 . De fapt, aceste lămpi arată timpii: de încărcare a condensatoarelor - h_2 ; de descărcare a bateriei auxiliare (impuls de preîncălzire) - h_3 și de descărcare a bateriei principale - h_4 ;

- La sfîrșitul timpului t_2 , se schimbă prin contactul $3RT_2$ al releului RT_2 , sensul de descărcare al impulsului de sudare în raport cu impulsul de preîncălzire, prin grupul de contactoare C_1-C_2 .

Tensiunea pe condensatoarele BCP și BCA se poate măsura cu voltmetrul V_2 prin comutarea succesivă a întrerupătorului a_4 pe pozițiile: " U_{BCP} - tensiune pe bateria de condensatoare principală" și pe " U_{BCA} - tensiune pe bateria de condensatoare auxiliară". Dacă tensiunile nu sînt cele stabilite, atunci descărcarea condensatorilor se face peste rezistențele R_{DP} și R_{DA} acționîndu-se butonul b_3 "DESCARCARE CONDENSATOARE". Așa cum rezultă și din

ciclul prezentat în figura 3.36, condensatoarele o încarcă pe timpul pauzei dintre două suduri, ca urmare la ultimul punct sudat, bateriile rămân încărcate. Acest fenomen nu este admis, deoarece poate produce accidente în cazul în care persoane neavizate ar interveni la bateriile de condensatoare.

Descărcarea condensatoarelor la terminarea lucrului se face automat prin deconectarea mașinii de la rețea, adică prin contactele $4\bar{C}_1$ și $5\bar{C}_1$ ale contactorului principal C_1 , montate în paralel cu contactele butonului "b₃", și aceleași rezistențe de descărcare R_{DP} , respectiv R_{DA} .

3.6.4.2. Sudarea fără impuls de preîncălzire.

Tot ce s-a menționat în cazul sudării cu impuls de preîncălzire este valabile și la acest ciclu de sudare, cu singura observație că "a₃" se trece pe poziția "FARA PREINCALZIRE". Ciclu care se obține este prezentat în figura 3.38.

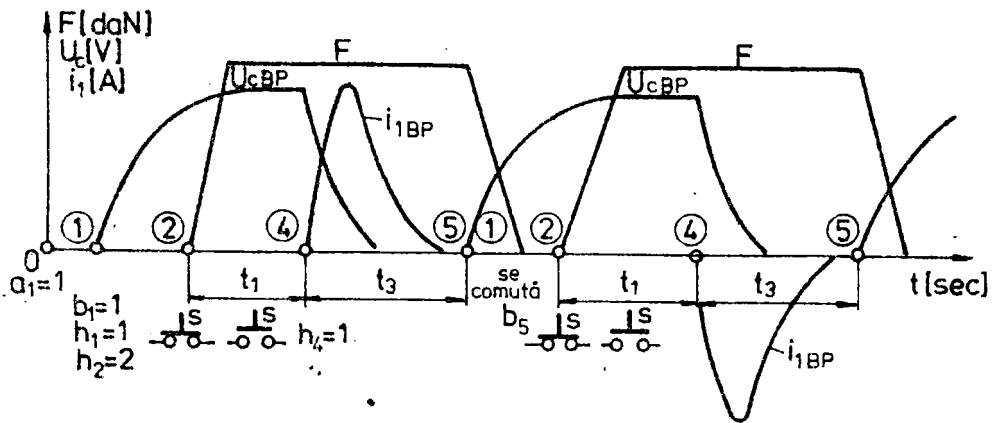


Fig.3.38. Ciclu de sudare fără impuls de preîncălzire ($t_2=0$) de la modelul MSC-2700.

Pentru a se evita descărcarea condensatoarelor prin transformatorul de sudare, mereu în același sens, s-a prevăzut în schemă un comutator notat cu b₅ care are menirea de a realiza după fiecare ciclu, conectarea contactorului care nu a funcționat în ciclul precedent și deconectare celui care a funcționat în ciclul anterior.

În timpul experimentărilor s-au realizat și alte cicluri de lucru pe modelul MSC-2700, dintre care ar mai fi de menționat

cel asemănător figurii 3.37, cu singura deosebire că bateriile de condensatoare nu se încarcă simultan, ci pe rând. Acest ciclu este recomandat în cazul când sursa de alimentare are o putere mai mică și nu permite încărcarea simultană a celor două baterii de condensatoare.

3.6.5. Intreținerea și exploatarea modelului experimental MSC-2700

Modelul experimental pentru sudarea prin puncte cu energie înmagazinată în condensatoare de 2,7 KJ, necesită o întreținere minimă. Pentru punerea în funcționare, se va avea în vedere următoarele :

- sursa de alimentare este rețeaua electrică de curent alternativ de 220 V; 50 Hz;
- după conectarea la rețea a mașinii se închide cheia de contact de pe panoul acesteia și tensiunea de alimentare este indicată la voltmetrul de 250 V_{ca};
- se deschide robinetul de la rețeaua de aer comprimat și în acest fel electrodul superior este ridicat (până în acest moment el era în contact cu electrodul inferior);
- se alege capacitatea condensatoarelor BCP și BCA;
- se fixează nivelul tensiunilor de încărcare al condensatoarelor din cele două baterii, BCP și BCA;
- se poziționează comutatorul "CONTROL-SUDARE" în vederea reglării forței de strângere a pieselor pe poziția "CONTROL";
- se acționează pedala "S" de branșare a mașinii. Electrocul superior este coborât și de la regulatorul de presiune, se stabilește conform tehnologiei de sudare, forța de strângere a electrozilor;
- se trece comutatorul "CONTROL-SUDARE" pe poziția "SUDARE". Din acest moment începe încărcarea celor două baterii de condensatoare la tensiunile impuse prin schemele electronice;
- se introduc componentele ce se vor suda între electrozi după care se acționează pedala "S". Astfel începe ciclul de sudare : prin apropierea electrozilor, strângerea, sudarea și eliberarea pieselor ;
- la terminarea lucrului, se acționează butonul "OPRIT" și se deconectează mașina de la rețea.

La oprire, energia acumulată în condensatoare se descarcă

automat peste o rezistență de sarcină.

IMPORTANT:

Modificarea raportului K al transformatorului de sudare respectiv schimbarea capacităților condensatoarelor BCP și BCA se vor face numai după acționarea butonului "OPRIT", sau după descărcarea energiei din condensatoare peste rezistențele de sarcină.

Eventualele intervenții, la instalația pneumatică, sau electrică se va face numai de către personal de specialitate, instruit special și care cunoaște schemele funcționale ale modelului MSC-2700.

3.7. Norme de tehnica securității muncii

a). Carcasa modelului experimental, miezul transformatorului de sudare și carcasa bateriilor de condensatoare se vor conecta obligatoriu la pământ.

b). Cu modelul MSC-2700, vor lucra numai persoane care au fost instruite pentru sudarea cu această mașină, care cunosc construcția și funcționarea acesteia.

c). Se va evita descărcarea condensatoarelor, direct între electrozi de sudare. Dacă apar astfel de cazuri, se acționează instantaneu butonul "OPRIT", sau se debranzează mașina prin cheia de contact.

d). Se vor respecta întru totul instrucțiunile privind exploatarea, deservirea și întreținerea modelului experimental MSC-2700.

3.8. Caracteristicile tehnice ale modelului experimental MSC-2700

3.8.1. Utilizare.

Modelul experimental MSC-2700 prezentat în figura 3.39, poate fi utilizat la sudarea prin presiune în puncte a tablelor, sau bolșelor din metale și aliaje neferoase, respectiv cu oțel inoxidabil, de grosimi:

- aluminiu de la 0,1+0,1 pînă la 2,0+2,0 mm;
- cupru de la 0,1+0,1 pînă la 1,5+1,5 mm;
- alamă de la 0,1+0,1 pînă la 1,5+1,5 mm;
- oțel inoxidabil de la 0,1+0,1 pînă la 1,5+1,5 mm. De asemenea pot suda diferite combinații între aceste metode și aliaje cum ar fi: cupru + aluminiu, oțel inoxidabil + oțel slab aliat etc, precum și table de grosimi diferite, exemplu 0,5+5mm aluminiu.

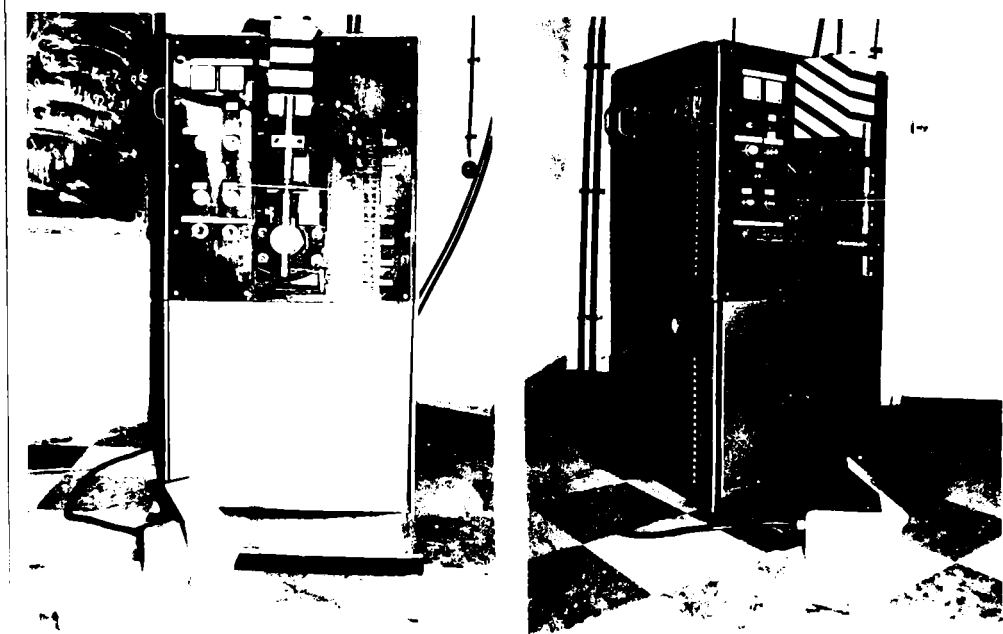


Fig.3.39. Modelul experimental MSC-2700

3.8.2. Caracteristici tehnice.

Energia maximă înmagazinată în bateria de condensatoare principală.....	2,7 KJ
Energia maximă înmagazinată în bateria de condensa- toare auxiliară	1,8 KJ
Tensiunea de alimentare	220 V, 50 Hz
Curentul maxim absorbit de la rețea, la 4,5 KJ.....	30 A
Tensiunea secundară de mers în gol.....	(5 - 20) V
Puterea transformatorului de sudare la DA=4%.....	54 KVA
Lungimea brațelor	200 mm
Deschiderea între brațe.....	150 mm
Cursa maximă a electrodului.....	50 mm
Forța de apăsare maximă	300 daN
Forța de apăsare minimă	10 daN
Cadența maximă de sudare.....	10 suduri/minut
Acționare pneumatică	
Presiunea nominală la intrare a aerului comprimat.....	6,3 bar
Dimensiuni de gabarit [mm].....	1410x720x960
Masa [kg].....	aprox. 560

CAPITOLUL 4

CALCULUL SI MODELAREA CURENTULUI DE SUDARE

Analizându-se procesul de descărcare al bateriilor de condensatoare prin transformatorul de sudare, s-au stabilit ecuațiile diferențiale pentru schema din figura 2.1, care rezolvate dau expresiile curenților și tensiunii pe condensatoare. Calculul curenților de sudare și determinarea formei impulsului de descărcare prin transformatorul de sudare necesită cunoașterea prealabilă a parametrilor circuitului de descărcare, parametrilor constructivi ai transformatorului de sudare și a parametrilor circuitului exterior. În funcție de acești parametrii, descărcarea condensatoarelor prin transformatorul de sudare poate avea un caracter aperiodic, periodic amortizat sau cu atenuare critică, (figura 1.6). Forma impulsului de descărcare și valoarea maximă a curentului de sudare, sînt parametrii tehnologici deosebit de importanți, la sudarea prin presiune a metalelor neferoase și a oțelurilor înalt aliate. Aceste mărimi sînt influențate de valorile parametrilor sub care este înmagazinată energia în condensatoare, și raportul de transformare K al transformatorului de sudare /49,61,64,77, 104,105/. Influența acestor factori asupra caracterului descărcării se va studia în continuare.

4.1. Influența parametrilor circuitului exterior asupra curentului de sudare.

Parametrii circuitului exterior, inductivitatea și rezistența, influențează curentul de sudare în felul următor :

- inductivitatea L_{sc} este în mare parte decisă prin construcția mașinii, sau prin modificarea lungimii brațelor circuitului exterior în funcție de gabaritul pieselor sudate și în mai mică parte de îmbinarea realizată;

- rezistența electrică a pieselor R_p , variază mult în cursul procesului de sudare ca urmare, variază și rezistența totală a circuitului de sudare /48;76;77/.

Cercetările experimentale, au arătat că la valori mici de încălzire a pieselor ($P \leq 10 \text{ daN}$), cu toate măsurile luate în

vederea pregătirii suprafețelor acestora în condiții optime, rezistențele de contact și implicit rezistența totală variază mult cu forța de strângere a electrozilor, (figura 4.1).

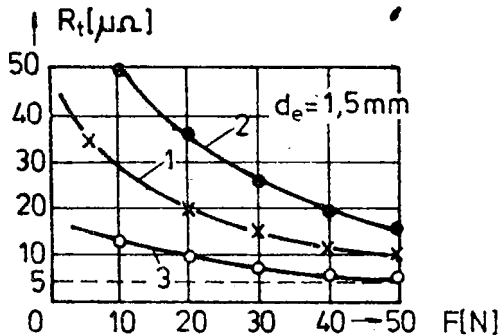


Fig.4.1. Variația rezistențelor funcție de forța de strângere a pieselor: 1-valoarea medie a rezistenței totale R_t ; 2 și 3-limitele superioare și inferioare ale rezistenței R_{1P2} de 0,1+0,1 mm.

apreciate numai de calitatea îmbinării sudate. Abaterile rezistențelor de contact și a rezistenței totale de la anumite limite, va influența, însăși procesul de sudare. De aceea se cere ca la sudare, rezistențele să scadă sau cel puțin să se stabilizeze la anumite valori, pentru a se evita eventualele defecte ce pot să apară la realizarea îmbinării între piese. Stabilizarea sau chiar reducerea rezistențelor, se poate face prin realizarea unor cicluri de sudare cu două impulsuri. Primul impuls asigură curățirea suprafețelor de contact a pieselor, iar al doilea realizează îmbinarea : /48;49/. Astfel, s-a constatat că micșorarea rezistențelor este de cca 85 %, iar abaterile se vor încadra într-un domeniu de $\pm 10 \%$ de la valoarea medie (figura 4.2).

Zona din jurul punctului sudat, nu este încălzită la sudarea cu energie înmagazinată în condensatoare, față de alte procedee de sudare, fenomen impus de timpul scurt de sudare, după care metalul topit se răcește rapid. Încălzirea metalului se face cu o viteză foarte mare 500.000-600.000 grade pe secundă, iar cantitatea de căldură se dezvoltă în impulsul de bază a curentului de sudare, efect polar Peltier. În afara acestui

Statistic s-a determinat că peste 90% din sudurile realizate se încadrează în intervalul al cărui limită superioară și inferioară sînt de (1,5...4) ori mai mari, sau mai mici decît valoarea medie a rezistenței. La sudarea cu energie înmagazinată în condensatoare, încălzirea nucleului punctului sudat este un proces complex, de aceea rezultatele și consecințele acestui proces, vor fi

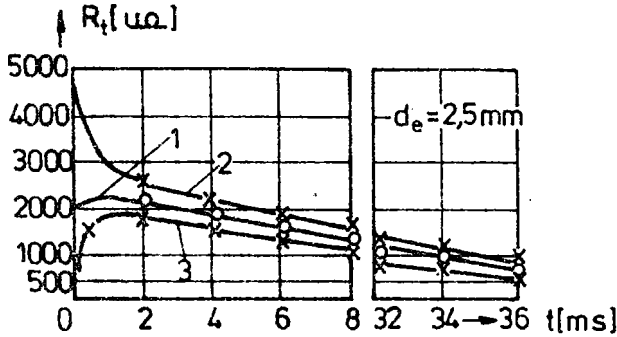


Fig.4.2. Variația rezistențelor în timpul procesului de sudare: 1-valoarea medie a R_t ; 2 și 3 - limitele superioare și inferioare a rezistențelor pentru $H_1 P_2 0,4+0,4$ mm. funcție de sensul curentului prin piesele ce se sudează, relația (4.1):

$$Q = Q_t \pm Q_p \quad (4.1)$$

unde: $Q_t = \int_0^{t_s} R_t \cdot I_s^2 \cdot dt$ - căldura totală;

$Q_p = K_p \cdot I_{sc} \cdot t_s$ - căldura Peltier;

t_s - timpul de sudare în secunde;

i_s - curentul de sudare în [A];

K_p - coeficientul Peltier în [mV];

I_{se} - valoarea echivalentă a curentului de sudare în [A]

Analizînd relația (4.1), rezultă proporționalitatea căldurii Q_t cu pătratul curentului de sudare, iar căldura Q_p cu valoarea echivalentă a curentului de sudare, care se determină din diagrama acestuia, prin construirea diagramelor I_s^2 și integrarea ei grafică, relația (4.2).

$$I_{sc} = \sqrt{\frac{I}{t_s} \int_0^{t_s} I_s^2 \cdot dt} \quad (4.2)$$

Influența rezistenței electrice R_{sc} și a inductivității L_{cs} , asupra formei curentului de sudare este arătată în figura 4.3. S-au păstrat constante raportul de transformare K , capacitatea

efect, la sudarea cu energie înmagazinată în condensatoare, mai există și efectul Thomson. Ambele efecte au fost detaliat studiate în lucrările /75 și 77/

Căldura Q_p obținută prin efectul Peltier, se adună sau se scade la căldura totală Q_t în

și tensiunea condensatoarelor. Analizând caracteristicile din figura 4.3, rezultă că modificarea parametrilor $R_{sc} - L_{cs}$ influențează forma, respectiv caracterul și valoarea maximă a curentului de descărcare.

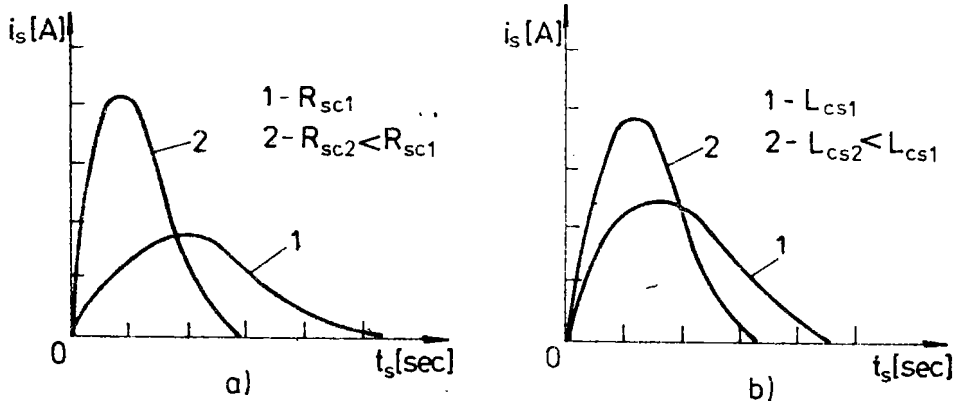


Fig. 4.3. Caracterul descărcării condensatoarelor în funcție de rezistența electrică R_{sc} și inductivitatea L_{cs} a circuitului de sudare: a-în cazul când $L_{cs}=ct$; b-în cazul când $R_{sc}=ct$.

Astfel la o mașină dată, se poate fixa conform tehnologiei de sudare, capacitatea C și tensiunea de încărcare U_c a condensatoarelor, respectiv raportul de transformare K al transformatorului de sudare. Influența acestor parametri asupra caracterului și valorii maxime a impulsului de descărcare este prezentată în figura 4.4.

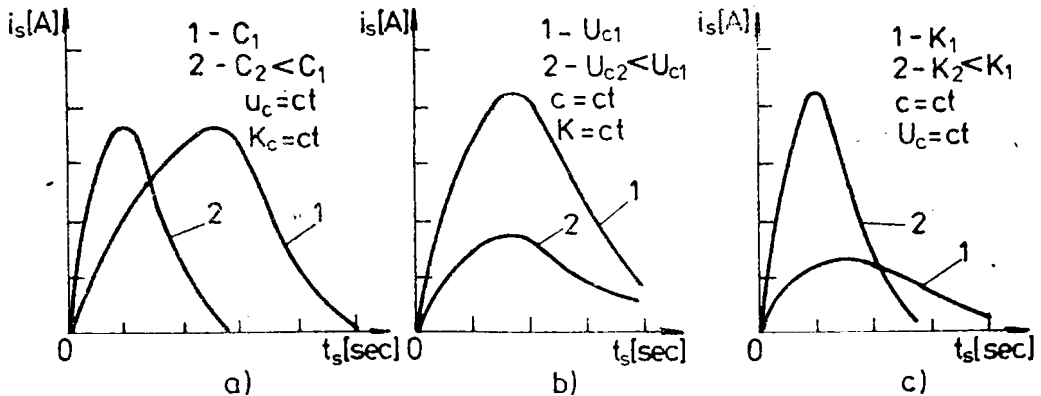


Fig.4.4. Caracterul descărcării bateriei de condensatoare în funcție de: a- capacitatea C a condensatoarelor; b-tensiunea de încărcare U_c a condensatoarelor; c-raportul de transformare K al TS

Din analiza figurilor 4.3 și 4.4, precum și a studiului efectuat pe modelul MSC-2700 se pot trage următoarele concluzii :

- dacă se modifică numai capacitatea bateriei de condensatoare, iar ceilalți parametri se mențin constanți, valoarea maximă a curentului de sudare rămâne practic constantă la modificarea acesteia, în schimb crește sau scade timpul de sudare, după cum capacitatea crește sau scade (figura 4.4.a);

- modificându-se tensiunea de încărcare a condensatoarelor la C și $K = ct$, valoarea maximă a curentului de sudare variază proporțional și în același sens cu aceasta (figura 4.4.b);

- raportul de transformare K, al transformatorului influențează curentul de sudare după caracteristica dată în figura 4.4.C, adică, pentru un K mic, crește curentul de sudare, respectiv scade timpul de descărcare și invers;

- inductivitatea circuitului exterior influențează curentul și timpul de sudare după variația dată în figura 4.3.b. Curentul de sudare scade la creșterea inductivității, iar timpul de sudare crește;

- curentul de sudare scade la creșterea rezistenței totale, iar timpul de sudare crește (figura 4.3.a).

4.2. Calculul curentului de sudare

Analizând procesul de descărcare al bateriei de condensatoare prin transformatorul de sudare și prin tiristor, s-a stabilit în capitolul 2, schema operațională, respectiv ecuațiile care descriu procesul de sudare prin presiune în puncte cu energie înmagazinată în câmp electrostatic (relațiile 2.23...2.39). Expresia curentului de sudare este dată de relația (4.2).

$$i_2(t) = \frac{M(s_1)}{N'(s_1)} \cdot e^{s_1 t} + \frac{M'(s_2)(s_2-s_1) - M(s_2)}{(s_2-s_1)^2} e^{s_2 t} + \frac{M(s_2)}{s_2-s_1} \cdot t \cdot e^{s_2 t} \quad (4.2)$$

unde:

$$M(s) = \frac{M \cdot U_c(o_-)}{L_1 \cdot L_t} s; \quad N(s) = s^3 + s^2 \frac{R_t \cdot L_1 + R_1 \cdot L_t}{L_1 \cdot L_t} + s \frac{L_t + R_1 \cdot R_t \cdot C}{C \cdot L_1 \cdot L_t} + \frac{R_t}{C L_1 \cdot L_t}$$

Rezolvarea relației (4.2), presupune cunoscut atât funcțiile $M(s)$ și $N(s)$, cât și soluțiile ecuației (4.3) :

$$s^3 + s^2 \frac{R_1 \cdot L_t + R_t \cdot L_1}{L_1 \cdot L_t - M^2} + s \frac{L_t + R_1 \cdot R_t \cdot C}{C(L_1 \cdot L_t - M^2)} + \frac{R_t}{C(L_1 \cdot L_t - M^2)} = 0 \quad (4.3)$$

Efectîndu-se schimbarea de variabilă $s = \frac{a}{3}$, se obține o altă ecuație, de forma :

$$s^3 + ps + q = 0 \quad (4.4)$$

unde s-au făcut notațiile pentru a, b și c din relația (2.33).

Soluțiile acestei ecuații sînt :

$$s_1 = -\frac{3q}{p}; \quad s_2 = s_3 = \frac{3q}{2p} \quad (4.5)$$

unde:

$$q = C + \frac{2a^3}{2f} - \frac{a \cdot b}{3} \frac{1}{L_1 \cdot L_t - M^2} \left[\frac{R_t}{C} + \frac{2}{2f} \cdot \frac{(R_1 \cdot L_t + R_t \cdot L_1)^3}{(L_1 \cdot L_t - M^2)^2} - \frac{1}{3} \frac{R_1 L_t + R_t L_1}{L_1 L_t - M^2} \right. \\ \left. \cdot \frac{L_t + R_t \cdot R_1 \cdot C}{C} \right]; \\ p = C - \frac{b^2}{3} = \frac{3c - b^2}{3} \frac{1}{L_1 L_t - M^2} \left[\frac{L_t + R_1 \cdot R_t \cdot C}{C} - \frac{(R_1 L_t + R_t L_1)^2}{3(L_1 L_t - M^2)} \right]$$

Cu aceste notații, se pot scrie soluțiile ecuației (4.4) :

$$s_1 = -\frac{\frac{3R_t}{C} + \frac{2}{9} \cdot \frac{(R_1 \cdot L_t + R_t \cdot L_1)^3}{(L_1 \cdot L_t - M^2)^2} - \frac{R_1 L_t + R_t L_1}{L_1 L_t - M^2} \cdot \frac{L_t + R_1 R_t \cdot C}{C}}{\frac{L_t + R_1 R_t \cdot C}{C} - \frac{(R_1 L_t + R_t L_1)^2}{3(L_1 L_t - M^2)}}; \\ s_2 = s_3 = \frac{1}{2} s_1 \quad (4.6)$$

Determinarea mărimii maxime a curentului de sudare, I_{2max} pentru diferitele valori ale parametrilor : C; L_1 ; L_t ; M; R_1 și R_t , precum și determinarea dependenței $I_2 = f(t)$, au fost obiectul a două programe BASIC - PRAE. Programele au fost rulate cu datele constructive ale modelului experimental MSC - 2700, prezentate în tabelul 4.1.

Tabelul 4.1.

W ₁	Param C [F]10 ⁻³	R ₁₁ [Ω]	R _t [Ω]	L ₁ =W ₁ ² /R ₁₁ [H]	W ₁ W ₂ [H] ^{km}	L ₂ =W ₂ ² /R ₂ [H]	L _t =1,2L ₂ [H]	Obs.
60	0,5			0,2885	0,00481			
45	cu pas. de 0,5	0,031	0,00014	0,1624	0,0036	0,00008	0,000090	W ₂ =1,1m R _m =μ _r S _p e
30	...			0,072	0,0024			
15	60			0,018	0,0012			

4.2.1. Determinarea caracterului procesului de descărcare al condensatoarelor

Forma impulsului de descărcare a bateriei de condensatoare poate avea în funcție de parametrii ce caracterizează procesul, o formă: aperiodică, cu atenuare critică și periodic amortizate. Pentru modelul experimental MSC-2700 sînt cunoscuți, atît parametrul circuitului de descărcare (C, L₁ și R₁), cît și parametrii circuitului de sudare (L₂, R₂, R_s și L_s), putîndu-se determina astfel forma curentului de sudare dat de relația lui Hevisaid (2.29).

Soluțiile s_k ale polinomului (2.27) scrise cu coeficienți concentrați, sînt date de relația (4.7)

$$s^3 + K_1 \cdot s^2 + K_2 \cdot s + K_3 = 0 \quad (4.7)$$

unde:

$$K_1 = \frac{R_1 \cdot L_t + R_t \cdot L_1}{L_1 \cdot L_t - M^2} = \frac{K_A}{K_B}; \quad K_2 = \frac{L_t + R_1 \cdot R_t \cdot C}{C(L_1 \cdot L_t - M^2)} = \frac{K_C}{C \cdot K_B}; \quad K_3 = \frac{R_t}{C(L_1 \cdot L_t - M^2)} = \frac{R_t}{C \cdot K_B}$$

Dăin studiul prezentat în capitolul 2 și pentru un caracter aperiodic, sau cu atenuare critică, a rezultat condiție dată relației (4.8), pentru care expresia "E" trebuie să tindă la zero (E → 0):

$$E = \frac{1}{27} \left[R_1 \cdot R_t + \frac{L_t}{C} - \frac{1}{3} \cdot K_1 (R_1 \cdot L_t + R_t \cdot L_1) \right]^3 + \frac{1}{4} \left[\frac{R_t}{C} - \frac{1}{3} K_1 (R_1 \cdot R_t + \frac{L_t}{C}) + \frac{2}{27} K_1^2 (R_1 \cdot L_t + R_t \cdot L_1) \right]^2 \quad (4.8)$$

Dacă se notează cu K_D suma R₁R_t + L_t/C, expresia (4.8) ia forma relației :

$$E = \frac{1}{27} (K_D - \frac{1}{3} K_1 \cdot K_A)^3 + \frac{1}{4} (\frac{R_t}{G} - \frac{1}{3} K_1 \cdot K_D + \frac{2}{27} K_1^2 \cdot K_A)^2 \quad (4.9)$$

Față de ipoteza (4.8), se mai impun următoarele condiții :

$$L_1 \cdot L_t - M^2 = K_B \neq 0; P = K_2 - \frac{1}{3} K_1^2; Q = K_3 + \frac{2}{27} K_1^3 - \frac{1}{3} K_1 \cdot K_2;$$

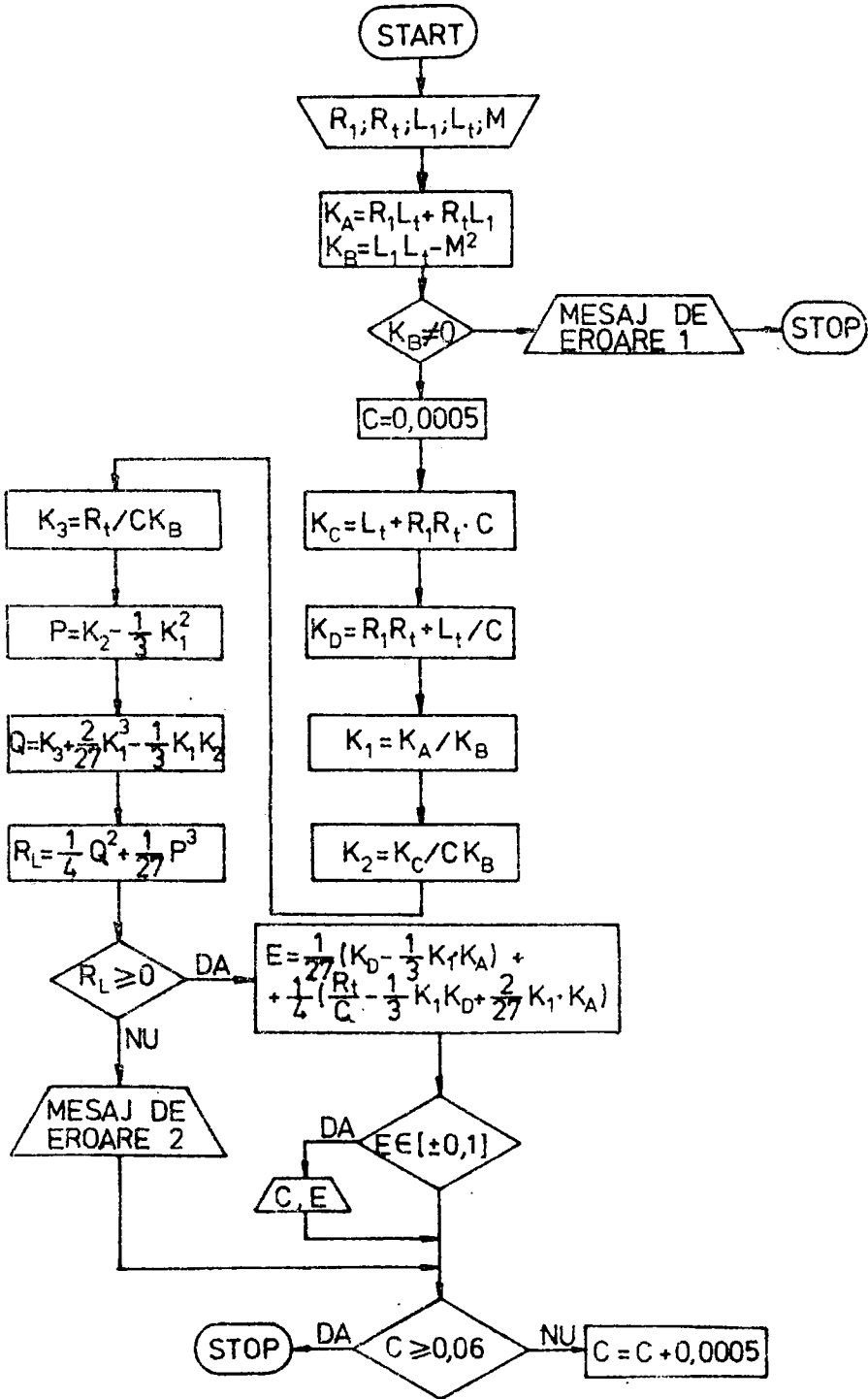
$$\sqrt{\frac{1}{4} Q^2 + \frac{1}{27} P^3} \in R \text{ și } \frac{1}{4} Q^2 + \frac{1}{27} P^3 \geq 0 \quad (4.10)$$

Schema logică a primului program în limbaj BASIC -PRAE prin care se determină caracterul impulsului de sudare este prezentată la pagina 99.

Rezultatele obținute pentru expresia "E" sînt date în tabelul 4.2, iar graficul de variație a acesteia funcție de capacitatea "C" a condensatoarelor este prezentată într-o diagramă semilogaritică în figura 4.5.

Tabelul 4.2.

C [F]	$5 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-3}$	$1,5 \cdot 10^{-3}$	$2 \cdot 10^{-3}$	$2,5 \cdot 10^{-3}$	$3 \cdot 10^{-3}$
E	$2,7 \cdot 10^{-2}$	$6,8 \cdot 10^{-3}$	$3,0 \cdot 10^{-3}$	$1,7 \cdot 10^{-3}$	$1,1 \cdot 10^{-3}$	$7,4 \cdot 10^{-3}$
C [F]	$3,5 \cdot 10^{-3}$	$4 \cdot 10^{-3}$	$4,5 \cdot 10^{-3}$	$5 \cdot 10^{-3}$	$5,5 \cdot 10^{-3}$	$6 \cdot 10^{-3}$
E	$5,5 \cdot 10^{-4}$	$4,2 \cdot 10^{-4}$	$3,3 \cdot 10^{-4}$	$2,7 \cdot 10^{-4}$	$2,2 \cdot 10^{-4}$	
C [F]	$6 \cdot 10^{-3}$	$6,5 \cdot 10^{-3}$	$7 \cdot 10^{-3}$	$7,5 \cdot 10^{-3}$	$8 \cdot 10^{-3}$	$8,5 \cdot 10^{-3}$
E	$1,8 \cdot 10^{-4}$	$1,6 \cdot 10^{-3}$	$1,3 \cdot 10^{-4}$	$1,2 \cdot 10^{-4}$	$1 \cdot 10^{-4}$	$9,1 \cdot 10^{-5}$
C [F]	$9 \cdot 10^{-3}$	$9,5 \cdot 10^{-3}$	$1 \cdot 10^{-2}$	$1,5 \cdot 10^{-2}$	$2 \cdot 10^{-2}$	
E	$8,1 \cdot 10^{-5}$	$7,2 \cdot 10^{-5}$	$6,5 \cdot 10^{-5}$	$5,9 \cdot 10^{-5}$	$5,4 \cdot 10^{-5}$	
C [F]	$2,5 \cdot 10^{-2}$	$3 \cdot 10^{-2}$	$3,5 \cdot 10^{-2}$	$4 \cdot 10^{-2}$	$4,5 \cdot 10^{-2}$	$5 \cdot 10^{-2}$
E	$9,9 \cdot 10^{-6}$	$6,8 \cdot 10^{-6}$	$4,9 \cdot 10^{-6}$	$3,7 \cdot 10^{-6}$	$2,8 \cdot 10^{-6}$	$2,3 \cdot 10^{-6}$
C [F]	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$6 \cdot 10^{-2}$				
E	$1,7 \cdot 10^{-6}$	$1,5 \cdot 10^{-6}$				



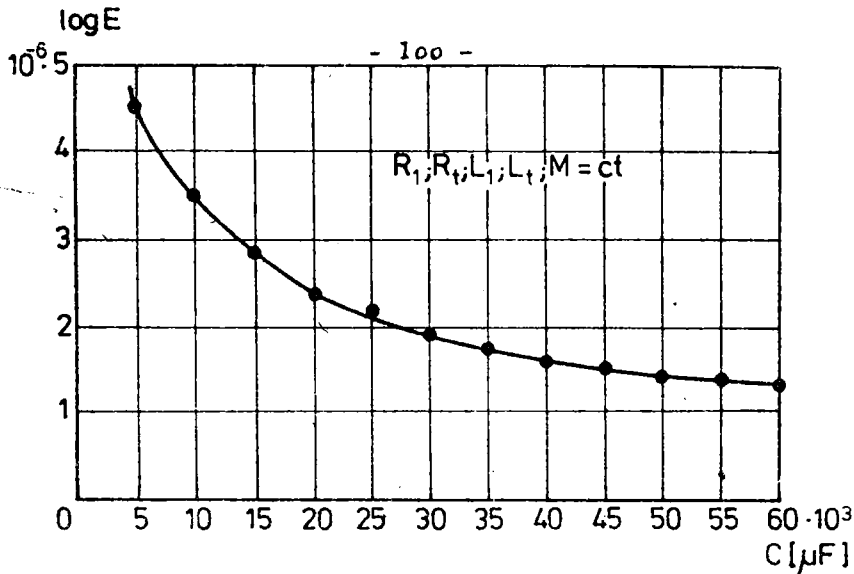


Fig.4.5. Dependența expresiei "E", în funcție de capacitatea condensatoarelor "C"

Dependența trasată în figura 4.5, pentru valorile: R_1 ; R_2 ; L_1 ; L_t și M ale modelului experimental MSC-2700, arată că impulsurile curentului de sudare și de preîncălzire trebuie să aibă un caracter aperiodic, sau o atenuare critică chiar și la capacitatea minimă de 500 μF și o tensiune redusă de cca 200 V.

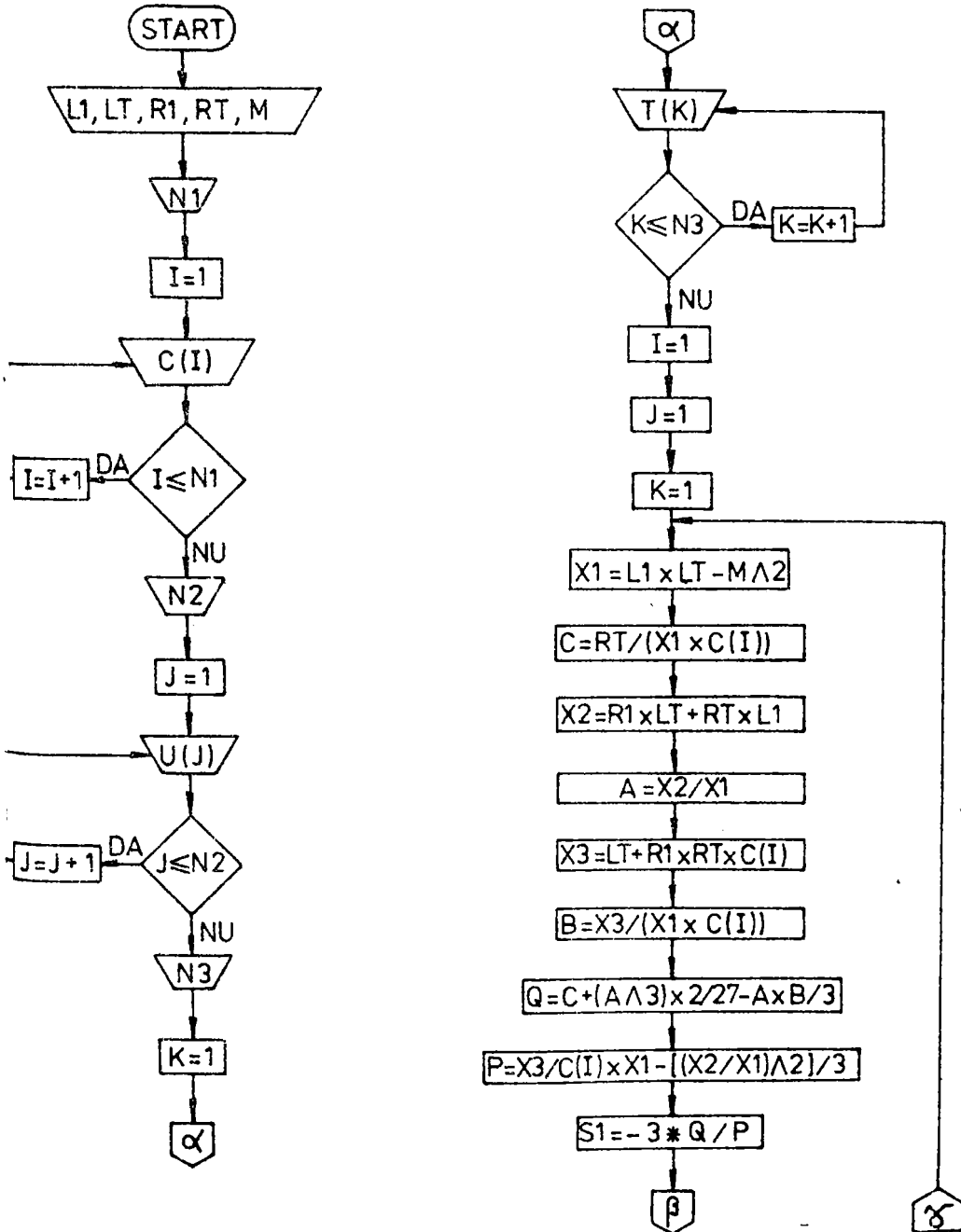
4.2.2. Determinarea curentului de sudare

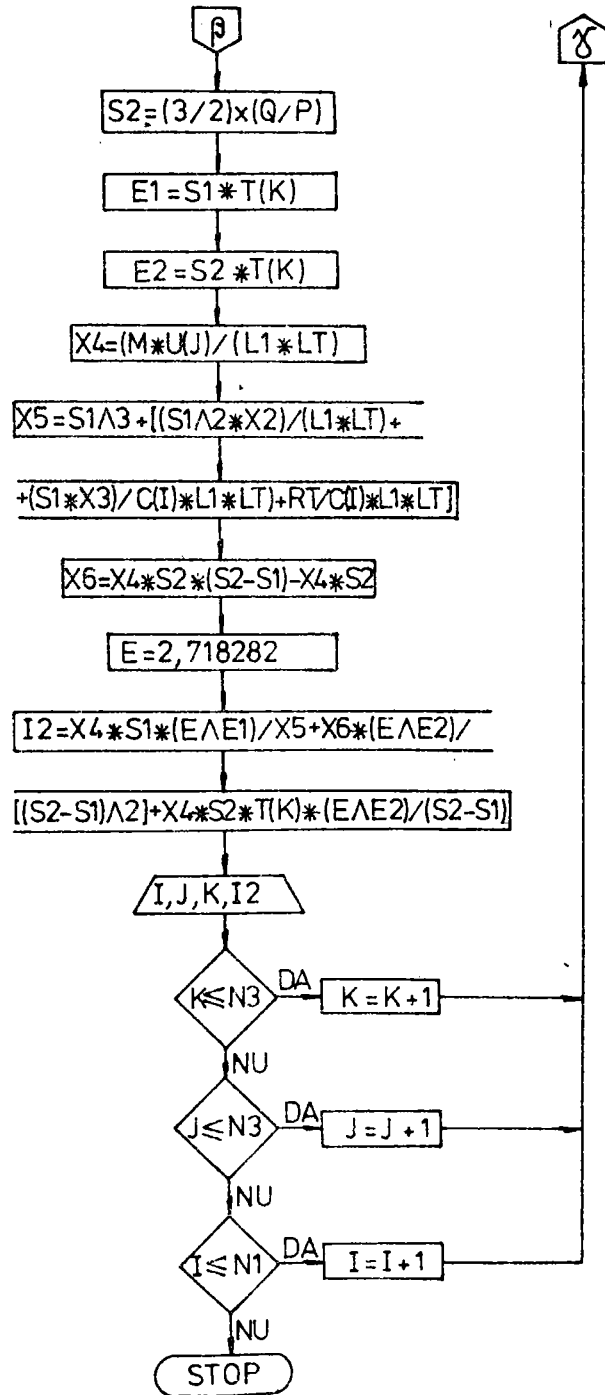
Curentul de sudare, respectiv curentul de preîncălzire cu caracter aperiodic sau cu atenuare critică, fac ca întreaga energie înmagazinată în condensatoare să fie consumată în întregime la prima alternanță. Prin al doilea program BASIC-PRAE, a cărui schemă logică și rezultate sînt date în continuare, s-a urmărit să se determine, nu numai variația în timp a curentului, ci și valoarea maximă a acestuia, pentru diferite valori ai parametrilor modelului MSC-2700. Expresia curentului dată de relație (4.2), și scrisă pentru programul BASIC-PRAE, are forma :

$$\begin{aligned}
 i_2(t) = & \frac{M \cdot U_c(o-)}{L_1 \cdot L_t} \cdot s_1 \cdot e^{s_1 t} + \\
 & \frac{s_1^3 + s_1^2 \frac{R_t \cdot L_1 + R_1 \cdot L_t}{L_1 \cdot L_t} + s_1 \cdot \frac{L_t + R_1 \cdot R_t \cdot C}{C \cdot L_1 \cdot L_t} + \frac{R_t}{C \cdot L_1 \cdot L_t}}{s_1^3 + s_1^2 \frac{R_t \cdot L_1 + R_1 \cdot L_t}{L_1 \cdot L_t} + s_1 \cdot \frac{L_t + R_1 \cdot R_t \cdot C}{C \cdot L_1 \cdot L_t} + \frac{R_t}{C \cdot L_1 \cdot L_t}} \cdot \frac{M \cdot U_c(o-)}{L_1 \cdot L_t} \cdot s_2 \cdot e^{s_2 t} + \\
 & \frac{M \cdot U_c(o-)}{L_1 \cdot L_t} \cdot \frac{s_2(s_2 - s_1) - \frac{M \cdot U_c(o-)}{L_1 \cdot L_t} \cdot s_2}{(s_2 - s_1)^2} \cdot e^{s_2 t} + \frac{M \cdot U_c(o-)}{L_1 \cdot L_t} \cdot \frac{s_2}{s_2 - s_1} \cdot t \cdot e^{s_2 t} \quad (4.11)
 \end{aligned}$$

unde datele de intrare sînt: L_1 ; L_t ; R_1 ; R_t ; M ; C ; timpul t și raportul de transformare K .

Schema logică a programului pentru rezolvarea relației (4.11) este următoarea :





Rezultatele obținute în urma rulării programului, sînt date în tabelul 4.3, iar curbele de variație a curentului de sudare în timp, sînt prezentate în figura 4.6

Tabelul 4.3.

Nr. crt.	Timpul [s]									C_{inc}	U_{TS}	Rep
	0,01	0,015	0,025	0,05	0,075	0,1	0,15	0,2	0,3			
1.	16,083	15,042	14,015	15,94	12,81	11,90	8,77	8,0	3,19	0,5	250	60
2.	19,854	19,28	18,7	17,4	13,8	8,7	5,7	1,87	1,38	60	300	60
3.	21,7	20,1	19,0	17,1	14,7	12,5	6,2	3,8	2,38	0,5	250	45
4.	29,12	27,15	25,2	23,8	20,12	18,1	6,2	2,1	1,7	60	300	45
5.	35,8	34,2	28,8	24,2	20,1	12,3	8,1	5,6	2,5	0,5	250	30
6.	45,7	40,1	33,2	31,8	23,1	19,1	12,12	2,4	1,75	60	300	30
7.	56,743	55,8	44,9	38,5	29,9	23,8	18,7	8,68	2,81	0,5	250	15
8.	68,24	67,16	68,1	54,0	32,9	28,7	13,8	3,8	1,81	60	300	15

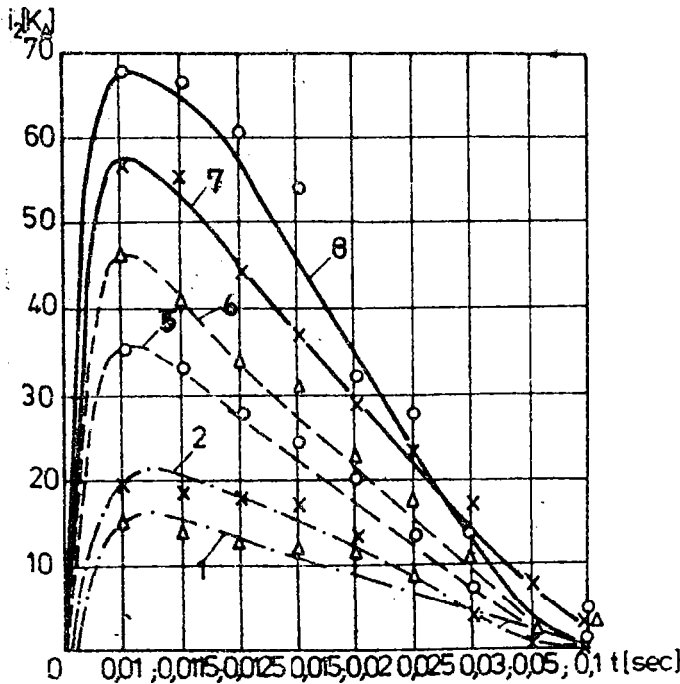


Fig. 4.6. Variația curentului de sudare funcție de timp, calculat după relația (4.11)

Variația curentului de sudare $i_2(t)$, curbele 1, 2, 5, 6, 7 și 8 prezentate în figura 4.6, după tabelul 4.3, sînt cu caracter aperiodic, ceea ce conferă valabilitatea relațiilor (4.2... 4.11) și a primului program BASIC-PRAE. În plus, valorile maxime ale curentilor de sudare pentru rapoartele de transformare de: 60, 45, 30 și 15, cu modificarea tensiunii și capacității condensatoarelor, vor fi confruntate cu oscilogramele ridicate pentru modelul MSC-2700.

4.3. Modelarea curentului de sudare

Experimentările efectuate la sudarea tablelor de aluminiu, cupru, alamă, oțel aliat etc. pe modelul MSC-2700 au arătat pe oscilogrammele ridicate, că forma impulsului curentului de sudare are o influență hotărâtoare asupra calității îmbinării și în general asupra stabilității procesului de sudare.

Astfel s-au studiat mai multe cicluri de sudare și s-au constatat următoarele:

a)- Ciclul de sudare realizat cu impuls de preîncălzire, mărește stabilitatea îmbinării sudate și micșorează recesibil eventualele stropiri inițiale a metalului din zona sudării;

b)- Modificându-se forma impulsului și realizându-se preîncălzirea se micșorează viteza de creștere a temperaturii în zona sudării, respectiv se influențează procesul de topire a metalului. O topire rapidă a metalului provoacă presiuni prea mari în nucleul topit și inevitabil stropiri sub formă explozivă, ceea ce micșorează omogenitatea nucleului topit, respectiv caracteristicile de rezistență a acestuia. O topire prea lentă a metalului, conduce la realizarea unui punct sudat cu pătrundere mică și cu rezistență mecanică redusă.

c)- Parametrii de sudare la procedeul cu energie înmagazinată vor fi funcție nu numai de natura și grosimea pieselor ce se sudează, ci și de caracteristicile constructive ale mașinii. Metodele de reducere, și/sau de evitare a stropirilor din zona sudării au fost tratate în prezenta lucrare la capitolul 2, iar schema electrică și de acționare a modelului MSC-2700 permite realizarea unor cicluri de sudare cu, sau fără impuls de preîncălzire, sub forță de apăsare constantă, (figura 3.28).

În programul de experimentări s-au folosit ambele cicluri de sudare realizate de mașina MSC-2700, pentru rapoartele de transformare :

$$K_1 = W_{1\max} = 60; K_2 = 45; K_3 = 30 \text{ și } K_4 = W_{1\min} = 15,$$

sub diferite tensiuni de încărcare și la diferite capacități ale condensatoarelor principale, respectiv auxiliare, obținându-se impulsurile de forma celor prezentate în figura 4.9.

Modelarea formei impulsului de sudare se poate realiza și prin alte metode prezentate în lucrarea /77/.

4.4. Scheme și montaje pentru oscilografiera curentului de sudare

Procesul de sudare prin presiune în puncte cu energie înmagazinată în condensatoare se caracterizează printr-un regim dinamic foarte pronunțat într-un timp foarte scurt de ordinul milisecundelor. De aceea măsurarea parametrilor, în speță a curentului de sudare, nu se poate face cu ajutorul instrumentelor obișnuite, datorită particularităților constructive ale acestora.

La aceste măsurători sînt necesare aparate care să permită înregistrarea, sau oscilografiera procesului pentru a se putea analiza ulterior regimul de sudare.

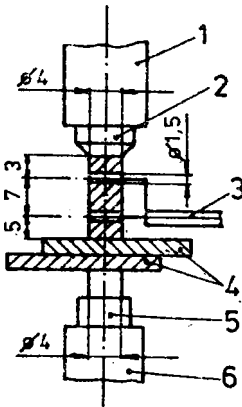


Fig.4.7. Pregătirea electrozilor de sudare, metoda oscilografierii, în vederea oscilografierii curentului de sudare.

Electrodul superior 2 este prevăzut cu două găuri de $\varnothing 1,5$ mm la o distanță de 7 mm una de cealaltă //77// Printr-un cablu ecranat 3, se obține de la aceste găuri un semnal de tensiune pentru osciloscopul cu remanență tip C8-9A. Rezistența electrică între aceste găuri este dată de relația (4.12)

$$R = \frac{\rho l}{S} \quad [\mu\Omega] \quad (4.12)$$

De asemeni, trebuie luate în considerare și fenomenele de încărcare-desincarcare a condensatoarelor prin transformatorul de sudare unde sînt obținuți cureni de ordinul zecilor de Kiloamperi și care provoacă variații mari ale câmpului magnetic și electric. Ca urmare, aceste cîmpuri pot produce importante forțe electromagnetice de distorsiune în circuitele de măsură și care pot denatura rezultatele încercărilor. De aceea s-a ales pentru măsurarea curenților de

$l = 0,7 \text{ cm}$; $\rho_{\text{Cu}} = 2 \mu \Omega \text{ cm}$, diametrul electrodului $0,4 \text{ cm}$
și $S = \pi \cdot \varnothing_{\text{el}}^2 / 4 = \pi \cdot 0,04 \text{ cm}^2$

Cu aceste date rezistența $R = 1,1 \cdot 10^{-5} \text{ ohm}$, iar vârful maxim al curentului oscilografiat va fi dat de relația (4.13) :

$$I = \frac{U}{R} \cdot 10^{-3} [\text{A}] \quad (4.13)$$

unde: U - tensiunea indicată pe osciloscop în mV;

R - rezistența electrică între punctele de măsură în ohm.

Eroarea rezultată din aproximația rezistenței R , se încadrează pentru determinările efectuate în intervalul: $+ 10\%$ și $- 5\%$.

Instalația cu care s-au realizat oscilografierile este prezentată în figura 4.8.

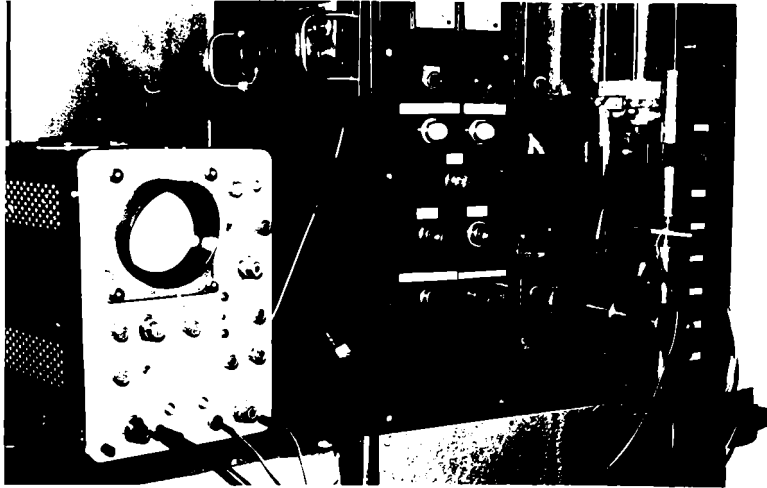


Fig.4.8. Modelul experimental MSC-2700 și aparatul C8-9A

În tabelul 4.4. sînt prezentate valorile parametrilor regimului de sudare a tablelor de aluminiu de $1,0 + 1,0 \text{ mm}$. grosime, mărimea maximă a curentului și timpul impulsului oscilografiat. Forma acestor impulsuri este arătată în figura 4.9.

Osciloscopul C8-9A a fost etalonat pentru următoarele semnale:

- amplitudinea semnalului de 250 mV/div ;
- viteza de deplasare a spațiului luminos 1 ms/cm .

Tabelul 4.4.

Nr. crt.	Tensiunea condensat. [V]	Capacitatea cond.	Capacitatea cond.	Mărim. Impul. sului	Timpul Impul. sului	$I_{virf} = U/R$	Figura	Raportul de transformare KTS
		BCA [μF]	BCP [μF]	[mV]	[msec]	[KA]		
0	1	2	3	4	5	6	7	8
1	250	400	13.000	50	0,25	4,545	4.9.a.1	
				100	0,3	9,090		
2	300	400	13.000	62,5	0,25	5,681	4.9.a.2	
				125	0,6	11,363		
3	250	8000	30.000	50	0,4	4,545	4.9.b.1	60
				150	0,5	13,636		
4	300	8000	30.000	62,5	0,4	5,681	4.9.b.2	
				162,5	0,7	14,772		
5	250	400	13.000	62,5	0,25	5,681	4.9.c.1	
				125	0,3	11,363		
6	280	13000	30.000	62,5	0,3	5,681	4.9.c.2	45
				187,5	0,6	17,045		
7	220	-	30.000	130	0,5	11,818	4.9.c.3	
8	280	400	13.000	75	0,25	6,818	4.9.d.1	
				150	0,4	13,636		
9	280	13000	58.000	75	0,4	6,818	4.9.d.2	30
				200	0,5	18,181		
10	280	13000	30.000	100	0,4	9,090	4.9.e.1	
				200	0,5	18,181		
11	150	13000	63,75	63,75	0,4	5,795	4.9.e.2	
				125	0,4	11,363		
12	150	13000	62,500	64	0,4	5,818	4.9.e.3	
				150	0,5	13,636		
13	100	-	62,500	50	0,4	4,545	4.9.f.1	15
				140	0,5	12,727		
14	200	-	62,500	162,5		14,772	4.9.f.2	
				0,3				
15	250	-	62.500	200	0,2	18,181	4.9.f.3	
16	280	13000	62.500	150	0,4	13,636	4.9.f.4	
				600	0,45	45,454		

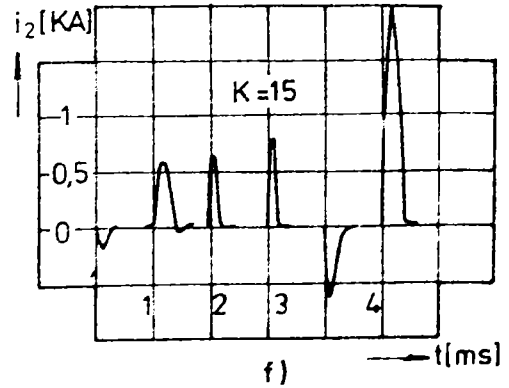
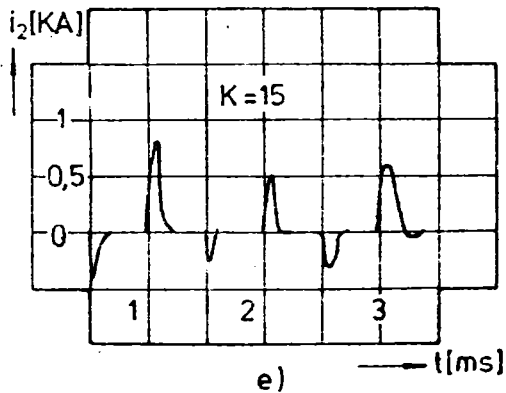
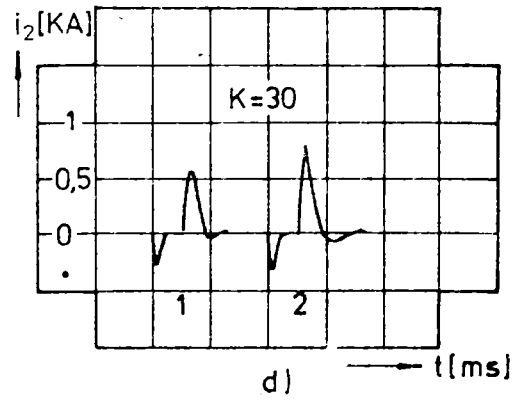
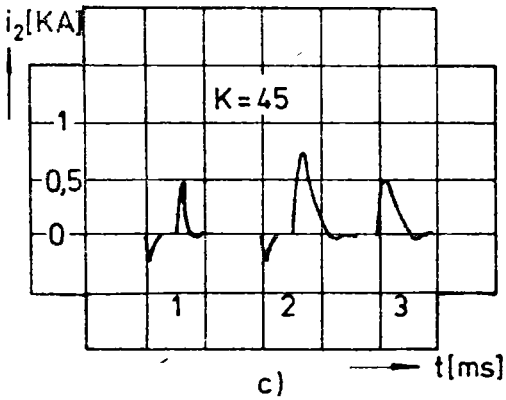
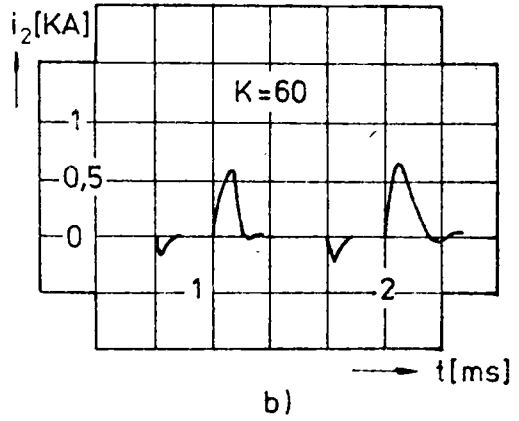
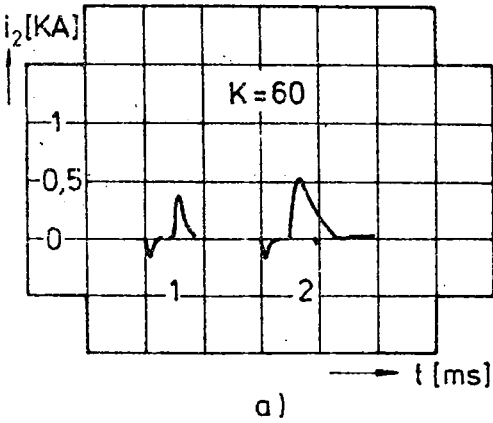
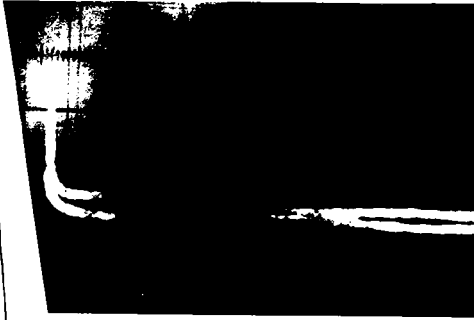
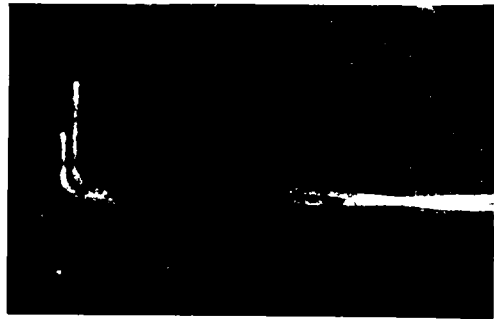


Fig.4.9. Impulsurile de curent obținute pe modelul MSC-2700

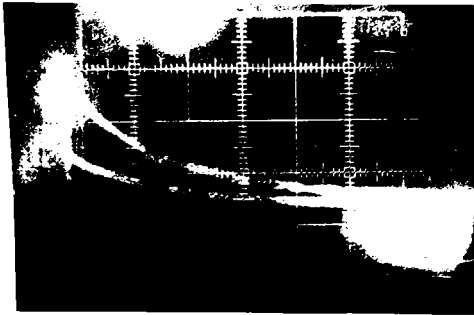
Impulsurile obținute la sudarea tablelor de aluminiu au fost vizualizate pe ecranul unui osciloscop cu remanență și apoi fotografiate, figurile 4.10; 4.11 și 4.12.



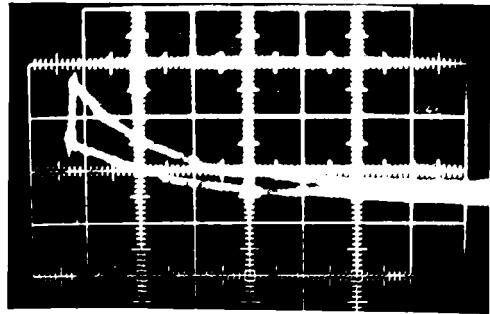
a)



b)



c)



d)

Fig.4.10. Oscilogrammele curentului de sudare, la parametrii osciloscopului C8-9A; 25omV/div și 1 ms/cm și la un raport de transformare $K_{TS} = 45$



a)

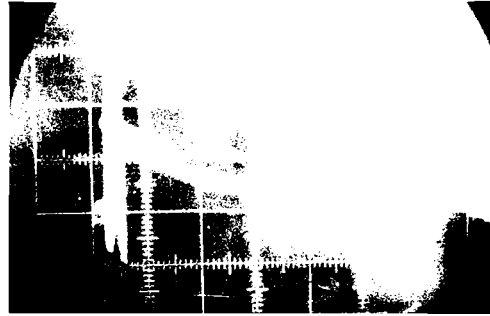


b)

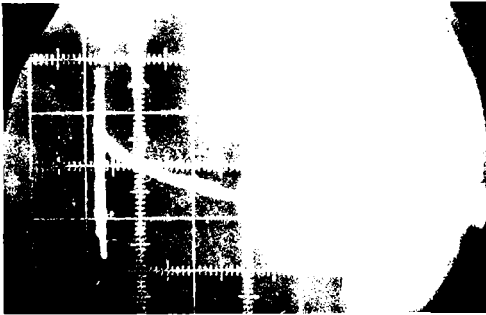
INSTITUTUL POLITEHNIC
TIMIȘOARA
BIBLIOTECA CENTRALĂ



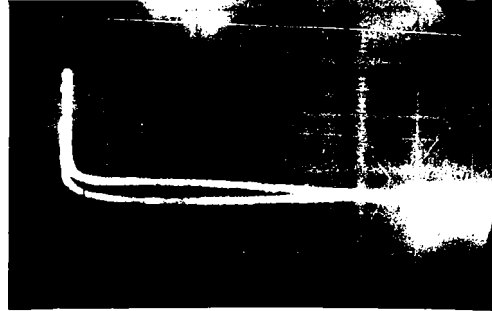
c)



d)

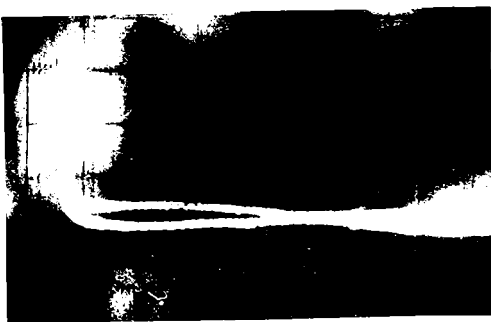


e)

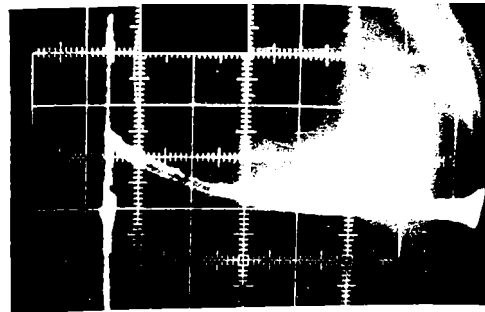


f)

Fig.4.11 .Oscilogrammele curentului de sudare la parametrii osciloscopului C8-9A: 250mV/div și 100 μ s/cm și la un raport de transformare $k_{TS} = 30$



a)



b)

Fig.4.12.Oscilogrammele curentului de sudare la parametrii osciloscopului C8-9A: 250 mV/div și 100 μ s/cm și la raportul de transformare $k_{TS} = 15$

Variațiile duratei impulsurilor și a amplitudinilor maxime ale curentului de sudare, obținute din oscilogramele prezentate în figurile 4.10; 4.11 și 4.12, sînt date în tabelul 4.5.

Tabelul 4.5.

Nr. crt.	Tens. pe cond. [V]	Capacit. cond. BCA [μ F]	Capacit. cond. BCP [μ F]	Mărimea impulsului [mV]	Durata impulsului [msec]	Ivîrf= U/R [KA]	Foto-grafia	Obs.
o	1	2	3	4	5	6	7	8
1	250	26.000		300	0,25	27,272	4.10.a	
			30.000	312,5	0,2	28,409		
2	250	26.000		300	0,25	27,272	4.10.b	F=75daN
			2.000	187,5	0,25	17,045		K=45
3	250	26.000		300	0,25	27,272	4.10.c	1mS/cm
			54.000	460	1,0	40,909		
4	250	26.000		300	0,25	27,272	4.10.d	
			60.000	450	1,0	40,909		
5	200	26.000		300	0,25	27,272	4.11.a	
			30.000	475	0,5	43,181		
6	200	26.000		300	0,25	27,272	4.11.b	F=76daN
			54.000	500	0,5	45,454		K=300
7	360	26.000		300	0,25	27,272	4.11.c	
			2.000	450	0,75	40,909		100 μ S/cm
8	300	26.000		450	0,3	40,909	4.11.d	
			38.000	450	0,3	40,909		250 mV/V
9	250	26.000		250	0,2	22,727	4.11.e	
			54.000	400	0,2	36,363		
10	250	26.000		300	0,2	27,272	4.11.f	
			2.000	125	0,1	11,363		
11	250	13.000		437,5	0,2	39,772	4.12.a	F=75 daN
			2.000	125	0,1	11,363		K=15
12	300	26.000		500	0,1	45,454	4.12.b	100 μ S/cm
			54.000	562,5	0,1	61,875		250mV/V

Din studiul oscilogramelor prezentate în figurile 4.9...4.12 se pot trage următoarele concluzii:

a) - Durata impulsului curentului de sudare este de ordinul milisecundelor, sau chiar sub o milisecundă.

b)- prin modificarea capacității bateriilor de condensatoare BCP și-BCA, se poate influența forma curentului de sudare. Această modificare ușurează stabilirea formei impulsului după necesitățile tehnologiei de sudare.

c)- prin modificarea tensiunii condensatoarelor, se influențează sensibil și în limite largi, vârful curentului de sudare.

d)- Rapoartele de transformare de 15, 30, 45 și 60, arată că transformatorul de sudare a fost construit în varianta optimă-;

e)- Experimentările efectuate la sudarea tablelor și foliilor din aluminiu, cupru, etc., precum și combinații ale acestora, au demonstrat că și transformatoarele de sudare fără întrefier în miezul magnetic a acestuia, conduc la realizarea unor îmbinări de calitate și că regimurile de lucru sînt constante (ciclurile de sudare sînt repetabile cu menținerea constantă a parametrilor).

f)- Printr-o alegere corectă a capacităților din cele două baterii de condensatoare și în corelație cu raportul de transformare al transformatorului de sudare, se pot realiza impulsuri cu anumite viteze de creștere a curentului de sudare și se poate influența durata acestuia.

g)- Forma impulsurilor este aperiodică, sau cu atenuare critică.

h)- Comparîndu-se oscilogramele din figurile 4.9; 4.10; și 4.12 cu curbele de variație a curentului de sudare din figura 4.6, determinate analitic, se observă că abaterile privind valorile maxime ale acestuia sînt sub 10%, iar caracterul impulsului este același pentru ambele situații.

i)- Interpretarea și analiza formei impulsurilor de curent oscilografiate pentru diferite regimuri de sudare au demonstrat că parametrii modelului experimental au fost bine aleși. Astfel transformatorul de sudare, circuitul exterior și circuitul de încărcare și de descărcare a condensatoarelor și capacitatea bateriei auxiliare, au fost executate cu pierderi minime de energie.

CAPITOLUL 5

CERCETARI EXPERIMENTALE PRIVIND OPTIMIZAREA

SUDARII PRIN PRESIUNE IN PUNCTE.

Sudarea prin presiune în puncte cu energie înmagazinată în condensatoare se poate aplica cu rezultate bune, la realizarea unor îmbinări, sau microsuduri la elemente de grosime ; 0,05+0,05 până la 2,0+2,0, sau 0,05+8 până la 0,01+10 mm., din metale și aliaje ușoare, cu conductibilitate termică ridicată, al pieselor fine și în general al materialelor metalice care pun probleme dificile în realizarea unei îmbinări sudate de calitate.

Parametrii optimi pentru obținerea unor îmbinări sudate de calitate, se determină și se stabilesc experimental în funcție de echipamentul utilizat. Astfel, au fost pregătite și sudate cu modelul MSC-270e probe din : aluminiu, cupru, oțel inoxidabil, alamă, sau îmbinări între metale și aliaje diferite.

5.1. Cercetări experimentale privind sudarea aluminiului.

Sudarea prin puncte cu energie înmagazinată în câmp electrostatic poate fi aplicată la majoritatea tablelor laminate din aliajele de aluminiu cum ar fi : AlCu; AlMg; AlMn; AlSi; AlZn; AlCuMg; AlMgSi, AlZnMg și este procedeul cel mai indicat, deoarece nu mășorează rezistența metalului de bază, iar zona influențată termic fiind foarte redusă /48,76,77/. Aluminiul este avid față de oxigen și se combină energetic cu acesta, rezultând Al_2O_3 . Astfel în atmosferă acest oxid acoperă aluminiul cu un strat compact de grosime 0,01...0,1 μ m, strat ce îl protejează de pătrunderea în continuare a oxigenului spre interior.

Conductibilitatea termică a aluminiului tehnic la 20°C este de 217,7136 J/m°C.s. și reprezintă cca 40 % din cea a cuprului.

Conductibilitatea electrică și termică a aluminiului se modifică în funcție de elementele de aliere (figura 5.1) /73/.

Pentru aluminiul de 99,99% puritate, rezistivitatea lui la 20°C este 65,45 % din rezistivitatea cuprului. De asemeni, rezistența la rupere este de 5,2 daN/mm² la o alungire de 62 %.

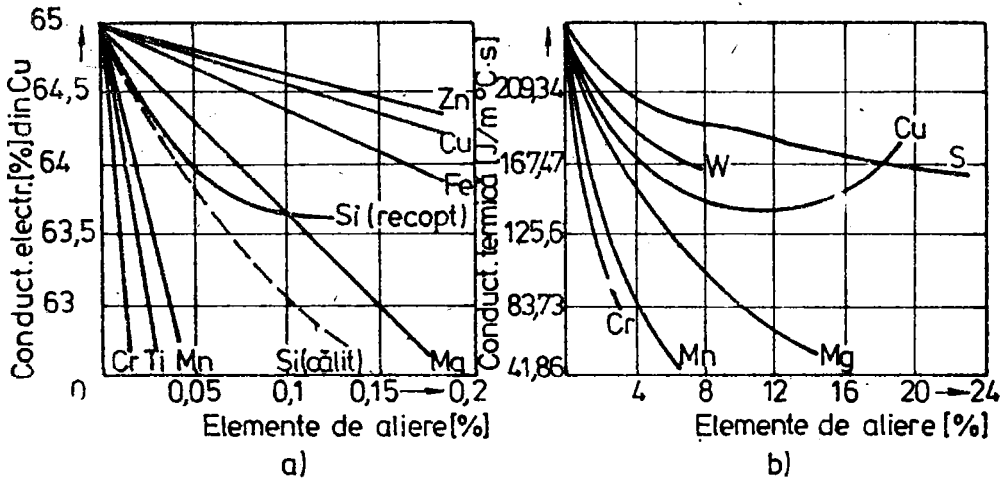


Fig.5.1.Variația caracteristicilor fizice ale aluminiului în funcție de diferite elemente: a- conductibilitatea electrică; b- conductibilitatea termică.

Rezistența crește cu starea de ecrusare, iar alungirea scade. Temperatura influențează în sens invers aceste proprietăți. Toate aceste detalii au fost analizate în cadrul încercărilor experimentale, în vederea optimizării tehnologiei de sudare prin presiune în puncte a aluminiului, pe modelul MSC-2700.

5.1.1. Epruvate pentru sudare.

Materialul pe care s-au efectuat cercetările experimentale este aluminiul electrotehnic: Al 99,2%; Fe cea 0,2% și Cu urme. Epruvetele pentru sudare și pentru cercetarea experimentală au fost decupate mecanic din tablele laminare de aluminiu, la dimensiunile prezentate în tabelul 5.1.

Se recomandă și o eventuală curățire chimică a probelor după următoarea rețetă : degresare cu "Tricloretilena", decupare cu o soluție de NaOH 10...15 % timp de un minut la 65°C, spălare cu apă distilată, neutralizare cu o soluție - o parte HNO₃ și o parte H₂O, timp de 1...3 minute la temperatura ambiantă, spălare cu apă distilată 1...2 minute, scurgere și uscare.

Cum rezultă din tabelul 5.1 și din figura 5.2, probele sudate, au inclus grosimile posibile de sudat prin procedeul studiat.

Tabelul 5.1.

Nr. Lungi- crt. mea		Lăți- mea		Grosimea (mm)	Nr. buc.	Nr. puncte sudate	Lung. supra- pusă (mm)	
(mm)	(mm)	(mm)	(mm)	(mm)				
1	60	10	15	0,1+0,1	5	1	10	
				0,2+0,2	5	1		
				0,4+0,4	5	1 si 2		
				0,5+0,5	5	1 si 2		
				1,0+1,0	5	2		
1,5+1,5	5	2						
2	60	10	15	0,1+5,0	5	2	10	
				0,2+5,0	5	2		
				0,4+5,0	5	2		
				0,8+5,0	5	2		
				1,0+5,0	5	2		
3	60	10	15	0,1+0,1+0,1	5	1	10	
				0,2+0,2+0,2	5	2		
				0,8+0,8+0,8	5	1		
				1,0+1,0+1,0	5	2		
4	60	10	15	0,1+5,0+0,1	5	2	10	
				0,2+5,0+0,2	5	3		
5	148	28	1,0+1,0	5	5	2	28	
	172	40						
	176	50						
6	140	20	0,5+0,5	5	5	1	20	
	144	30						
	150	40						



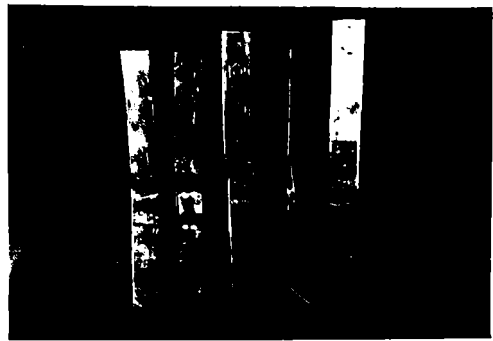
Fig.5.2. Probe de aluminiu sudate pe modelul MSC-2700

Epruvetele sudate cu regimurile din tabelul 5.2, au fost cupuse la tracțiune (încercarea se consideră de forfecare), rezultând probe cu puncte forfecate, cu rupere a materialului de bază, sau cu puncte debutonate (figura 5.3). Raportul de transformare al transformatorului de sudare este, $K_{T3}=60$

Tabelul 5.2

Nr. Prob.	Grosimea (mm)	Lăți- mea (mm)	Parametrii de sudare		F _{max} Nr. sud.	lo- cul ru- perii	Aria sect. punct, rupere (mm ²)	Efort unitar Z _r ($\frac{daN}{mm^2}$)		
			Capacit (μF)	Capac. (μF)					Tens. inc. (V)	Nr. p. (daN)
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		16,5	-	8.000		1 29,0	P.F	4,9	5,9	
2		16	-	10.000		1 29,5	P.F	4,9	6,02	
3	0,53+0,53	15	-	12.000	250	1 31,0	P.F	4,9	6,32	
4		16	-	16.000		1 39,0	DEB	4,162	9,37	
		16,3	13.000	8.000		1 43,0	DEB	4,162	10,33	
6		15,2	13.000	12.000		2 88,0	DEB	9,325	10,57	
7		16,2	8.000	13.000		2 71,0	DEB	9,325	8,52	
8	0,53+0,53	15,5	13.000	8.000	250	2 70,0	DEB	9,325	8,40	
9		15,7	4.000	12.000		2 76,0	DEB	9,325	9,129	
10		15,0	-	16.000		2 57,0	DEB	9,325	6,84	
11		15,6	13.000	12.000		3 80,0	MB	12,437	6,4	
12		15,2	8.000	13.000		3 70,0	MB	12,437	5,60	
13	0,53+0,53	16,5	13.000	8.000	250	3 71,0	MB	12,437	5,68	
14		16,0	4.000	12.000		3 70,0	MB	12,437	5,60	
15		15,8	-	16.000		3 68,0	MB	12,437	5,44	
16		15,2	13.000	8.000		4 94,8	DEB	16,65	5,69	
17		16,0	13.000	12.000		4 99	MB	16,65	5,94	
18	0,53+0,53	15,5	8.000	12.000	250	4 92	DEB	16,65	5,52	
19		16,1	4.000	16.000		4 91	DEB	16,65	5,46	
20		16,2	-	16.000		4 70	DEB	16,65	4,20	
21		16,3	13.000	12.000		4 193	MB	16,65	11,59	
22		15,7	8.000	13.000		4 161	MB	16,65	9,669	
23	0,5+2,0+0,5	16,0	4.000	20.000	250	4 191	MB	16,65	11,47	
24		15,6	-	16.000		4 85	DEB	16,65	5,137	
25		16,2	-	20.000		4 98	MB	16,65	5,88	
26		15,2	13.000	12.000		4 94	MB	16,65	5,64	
27		16,2	8.000	13.000		4 86	DEB	16,65	5,16	
28	0,5+3	15,5	13.000	8.000	250	4 95,6	MB	16,65	5,70	
29		15,7	4.000	16.000		4 88	DEB	16,65	5,28	
30		15,0	-	20.000		4 92	MB	16,65	5,52	

PF-punct forfecat; DEB-debutonat; MB-rupere material de bază.



a)

b)

Fig.5.3. Probele din aluminiu după încercarea la rupere: a- cu un punct forfecat, sau debutonat; b - rupte în materialul de bază, sau cu puncte debutonate.

S-au acceptat regimurile de sudare, pentru care efortul unitar la rupere, σ_f satisface relație (5.1):

$$\sigma_f \geq \sigma_{fa} = 0,6 \cdot \sigma_{RAL} \quad (5.1)$$

unde:

$$\sigma_{RAL} = 8 \text{ daN/mm}^2$$

Efortul unitar s-a calculat în funcție de forța maximă determinată la rupere și de aria secțiunii punctului pentru cele trei situații: punct forfecat (PF), punct debutonat (DEB) sau rupere în materialul de bază (MB), cu relațiile (5.2).

$$\sigma_f = \frac{F_{\max}}{A_{PF}} \quad \text{și} \quad \sigma_f = \frac{F_{\max}}{A_{PDEB}} \quad (5.2)$$

unde:

$$A_{PF} = \frac{\pi \cdot d_p^2}{4} \cdot n_p$$

$$A_{PDEB} = \pi \cdot d_p \cdot s \cdot n_p;$$

$$d_p = 0,9 \cdot d_{el};$$

$$n_p = \text{numărul de puncte.}$$

5.1.2. Determinarea regimurilor optime la sudarea tablelor din aluminiu

Lucrările efectuate în cadrul programului experimental au urmărit nu numai determinarea regimurilor optime la sudarea

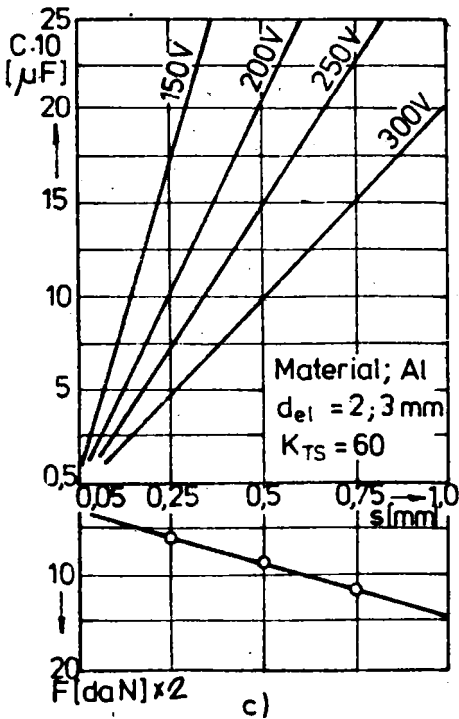
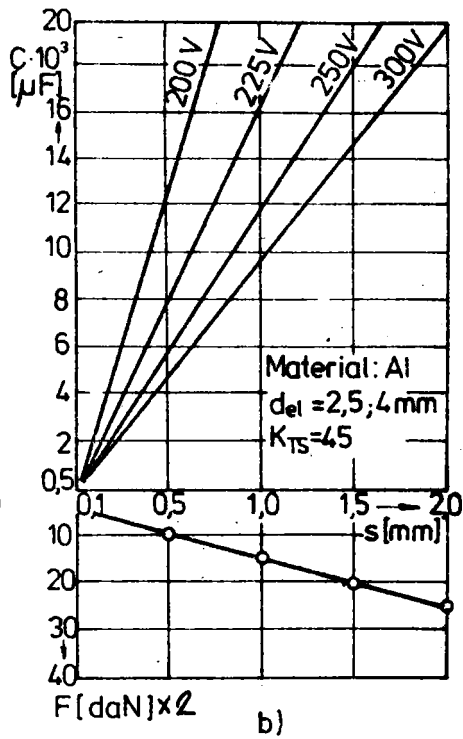
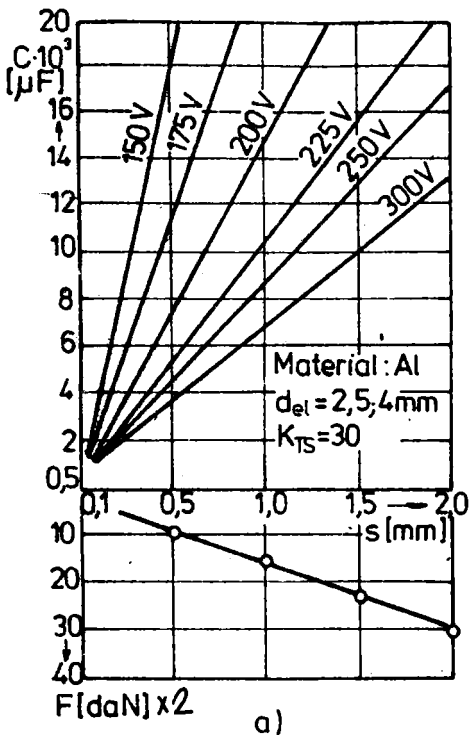


Fig.5.4. Diagrame pentru determinarea impulsului de sudare a tablelor din aluminiu.

ăluiniului, și și modul de comportare în exploatare a unor subansamble ale modelului MSC-2700, cum sînt : transformatorul de sudare, bateria de condensatoare cu circuitele de încărcare și de descărcare a acesteia, schema electrică și pneumatică de acționare, etc.

Pentru alegerea operativă a parametrilor de sudare, s-a elaborat pentru modelul experimental, nomogramele prezentate în figura 5.4, a căror acoperire experimentală și suport teoretic, îl va constitui-determinarea corelației și a

regresiei multiple dintre : efortul unitar la rupere Σ_f , grosimea tablei s, capacitatea C și tensiunea de încărcare a condensatoarelor - prezentat la paragraful 5.6 din această lucrare.

De menționat că, sudarea tablelor de aluminiu de 0,1+0,1 mm, pînă la 1,5+1,5 mm, respectiv, 0,5+3,0 mm pînă la 0,1+8 mm, cu regimurile stabilite după nomogramele 5.4, a dat rezultate bune (tabelul 5.2).

5.2. Cercetări experimentale privind sudarea cuprului.

Rezultatele bune s-au obținut și la sudarea tablelor din cupru electrolitic. Probele au fost confecționate după dimensiunile și datele prezentate în tabelul 5.1. Parametrii tehnologici pentru tablele de cupru sudate cu modelul MSC-2700, sînt prezentați în tabelul 5.3, iar cîteva probe mai reprezentative în figura 5.5.

Tabelul 5.3.

Nr. prob.	Grosimea (mm)	Lățimea (mm)	Parametrii de sudare			F _{max} (daN)	Lo-cul ruperii (mm ²)	Aria sect. pct.	Σ_f (daN/mm ²)	
			Capa- cit. CA (μF)	Capa- cit. CP (μF)	Tens. înc. (V)					Nr. punct
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		15,8	2.000	12.000		1 18	DEB 0,85	21,17		
2		15,5	4.000	12.000		1 18,5	DEB 0,85	21,76		
3	0,1+0,1	15,6	2.000	13.000	220	1 19,5	DEB 0,85	22,94		
4		15,8	2.000	16.000		1 18,5	DEB 0,85	21,76		
5		16,2	-	16.000		1 19	DEB 0,85	22,35		
6		15,5	2.000	12.000		2 27,5	DEB 1,7	16,17		
7		16,1	4.000	12.000		2 28	DEB 1,7	16,47		
8	0,1+1,0+	15,8	2.000	13.000	220	2 28	DEB 1,7	16,47		
9	+0,1	15,8	2.000	16.000		2 28,5	DEB 1,7	16,76		
10		15,3	-	16.000		2 26,5	DEB 1,7	16,58		

PF- punct forfecat; DEB- debutonat; RB-rupere material de bază

Că și în cazul sudării tablelor din aluminiu, s-au determinat regimuri optime pentru tablele din cupru, sudate cu modelul MSC-2700, respectiv, s-au elaborat nomograme în vederea stabilirii operative a parametrilor de sudare, (figura 5.6.) De menționat că sudarea tablelor din cupru nu se recomandă a se face cu raportul de transformare $K_s = 60$, motiv pentru care nu s-au elaborat nomograme pentru acest raport al transformatorului de sudare.

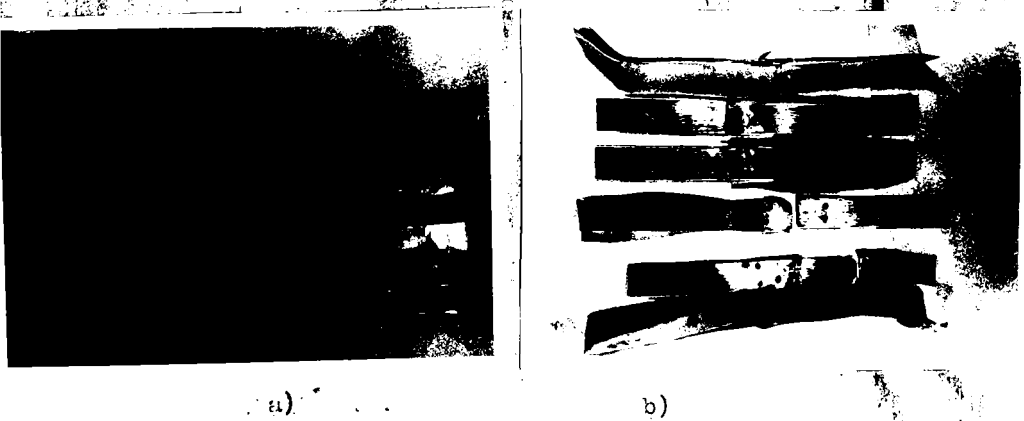


Fig. 5.5. Probe din tablă de cupru sudate: a)- înainte de rupere; b)- după rupere.

Criteriul de acceptare al probelor sudate, respectiv ai parametrilor de sudare, este cel dat de relațiile (5.1) și (5.2) cu mențiunea că : $\sigma_p = 20 \text{ daN/mm}^2$.

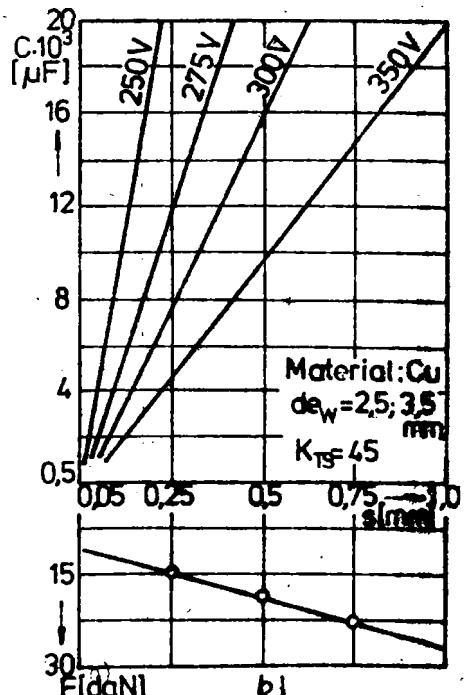
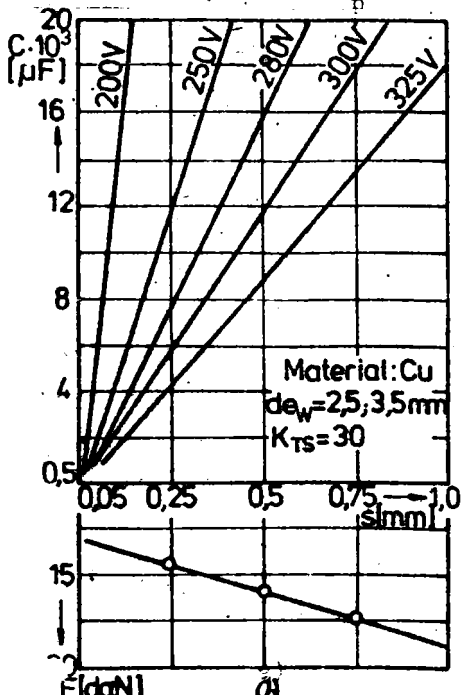


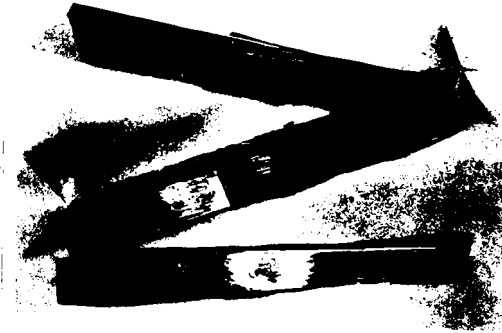
Fig. 5.6. Diagrame pentru determinarea rezistenței în Țulului de sudare a tablălor din cupru.

5.3. Cercetări experimentale privind sudarea metalelor diferite.

În afara probelor sudate din aluminiu și cupru, tabelele 5.2

și 5.3, s-au mai făcut optimizări pentru parametrii de sudare și în cazurile :

- a) - sudarea foliilor de cupru pe table de aluminiu și tablă de alamă, figura 5.7.
- b) - sudarea tablelor din oțel inoxidabil pe table din oțel carbon.



Pentru verificarea calitatii la punctele a și b din acest paragraf, s-au făcut nu numai încercările mecanice de rupere, ci și analize metalografice optice, respectiv electronice cu microsonda JCA - 50A.

Fig.5.7. Probe sudate din folii de cupru pe tablă de aluminiu.

Parametrii regimului de sudare în cazul îmbinărilor realizate între folii de cupru, pe table de aluminiu, sînt prezentați în tabelul 5.4., iar pentru îmbinările sudate între table din oțel inoxidabil și oțel carbon, în tabelul 5.4.

Pentru probele din tabelul 5.5 nu s-au făcut încercările de tracțiune. Rezultatele date de microsondă și cele de microstructură au arătat calitatea bună a îmbinării sudate și a ZIT-ului. Parametrii de sudare se pot determina pe diagramele prezentate în figura 5.8.

Tabelul 5.4.

Nr. prob.	Grosimea (mm)	Lățimea (mm)	Parametrii de sudare			Nr. pct.	Lo- max (daN)	Aria cul. rup. (mm ²)	Z _f (daN/mm ²)	
			Capa- cit. SA (μF)	Capac. CBP (μF)	Tens. inc. (V)					
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1		17,0	4.000	13.000		1	17,0	DEB 0,85	20	
2		16,8	8.000	13.000		1	17,4	DEB 0,85	20,4	
3	Cu(0,1mm)	16,5	12.000	13.000	250	1	26,2	DEB 0,85	31,1	
4	+ Al(1,0mm)	16,2	-	13.000		1	11,5	DEB 0,85	13,5	
5		16,3	-	13.000		1	12,0	DEB 0,85	14,11	
6		16,2	4.000	13.000		2	28,5	DEB 1,69	16,86	
7	Cu(0,1mm)	16,5	8.000	13.000		2	30,0	DEB 1,69	17,75	
8	+ Al(1,0mm)	16,2	12.000	13.000	250	2	35,5	MB 1,69	21,0	
9	Al(1,0mm)	17,0	-	13.000		2	27,0	DEB 1,69	15,9	
10		16,9	-	16.000		2	28,0	DEB 1,69	16,55	

Tabelul 5.5.

Nr. prb. mea	G - s - Lăți- mea	Parametr de sudare				In. pct.
		Capa- cit.	Capae. cit:	Tens. inc.	In.	
	(mm)	(mm)	C _{BA} (μF)	C _{BP} (μF)	(V)	
1		15,2	8.000	12.000	250	
2	OL37	15,1	8.000	14.000	250	
3	(1,5mm) +	15,5	4.000	10.000	280	1
4	INOX (0,5mm)	15,3	6.000	14.000	280	
5		15,2	10.000	10.000	250	
1	0,1 Cu+	15,0		10.000		
2	2,0 Cu Zn 39	15,3		12.000		
3	Pb2	15,1	8.000	14.000	250	1
4		15,2		16.000		
5		15,0		18.000		

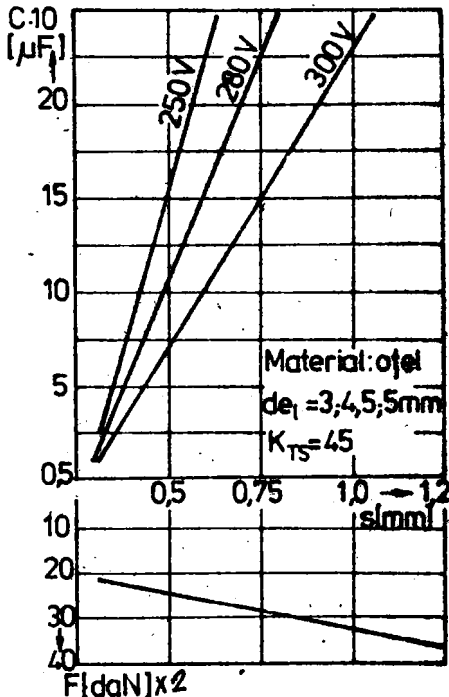


Fig.5.8 Diagrame pentru determinarea parametrilor la sudarea oțelului inoxidabil pe modelul MSC-2700.

5.4. Analiza metalografică asupra îmbinărilor sudate

Din îmbinările sudate, în cadrul încercărilor experimentale, s-au prelevat probe care au fost supuse analizei metalografice optice și electronice. Prelucrarea s-a făcut mecanic prin tăiere cu foarfeca, după care a urmat operația de pilire, înlăturându-se stratul ecruizat în urma tăierii. Probele fiind de dimensiuni foarte mici a fost necesară înglobarea lor în "DENTACRYL". În continuarea, pregătirea probelor s-a făcut conform prevederilor STAS 4203-74.

În figura 5.9, se prezintă microstructurile obținute la sudarea prin presiune în puncte a două metale diferite. Așa cum rezultă din figura 5.9.a structura obținută la sudarea unei folii de Cu (0,1mm), pe tablă din CuZn 39 Pb 2 (1,5 mm), este formată din soluție solidă α cu macle. La sudarea aluminiului (2,0 mm) cu folie din Cu (0,1 mm), figura 5.9.b, structura este formată din soluție solidă α cu incluziuni nemetalice fine, iar



a)



b)



c)

structura formată la sudarea CuZn (2,0 mm) cu oțel inoxidabil (0,5 mm) este formată din ferită, perlită și ferită aciculară. De asemenea, analiza microstructurilor prezentate, pune în evidență prezența unui strat alb în zona de trecere dintre cele două metale (figura 5.1.4, b și c), ceea ce indică că în timpul sudării au avut loc fenomene de difuzie.

În vederea evidențierii fenomenelor de difuzie probabile au fost examinate cu ajutorul microscopului electronic JEOL-50A cu fascicul accelerat la 25 KV și la un curent de $3 \cdot 10^{-7}$ A, în regia

Fig.5.9. Microstructuri: a) CuZn39Pb2; atac conf. STAS b) Al+Cu; atac conf. STAS c) InOX; atac conf. STAS

de comandă prin calculator. Microanaliza este comandată prin calculatorul PDFC/a, utilizându-se programul SS/78/03.

5.4.1. Analize distribuției și variației elementelor din
îmbinarea sudată CuZn39Pb2 + Cu

Probele sudate din CuZn39Pb2 (STAN 95-80) + Cu, realizate conform tabelului 5.5, au fost notate prin "MARCAJ-A". În figurile 5.10; 5.11 și 5.12 se prezintă variația elementelor: cupru, zinc și fier.

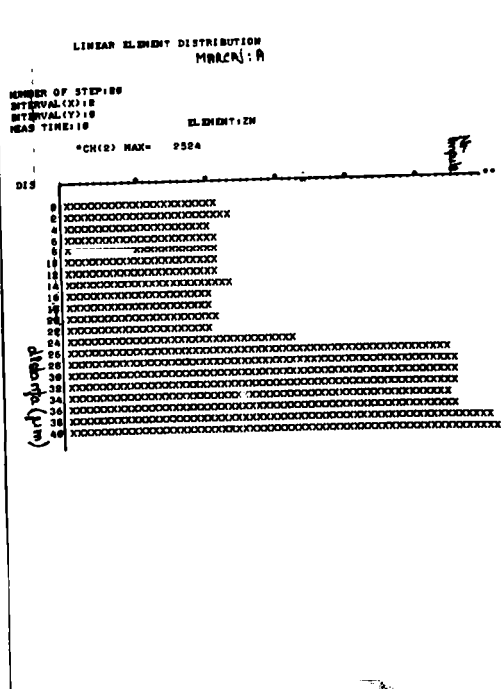


Fig. 5.10. Variația elementului
Cu din îmbinarea sudată
Cupru + alamă

Fig. 5.11. Variația elementului
Zn din îmbinarea sudată
Cupru + alamă

Porțiunea explorată din îmbinare a fost de 40 μm lungime ce traversează îmbinarea celor două metale. Pasul folosit la explorare a fost de 2 μm , scoțându-se în evidență următoarele :

- pentru elementul Cu, (figura 5.10), apare o difuzie de cca 6 μm , prin creșterea progresivă a acestuia de la alamă spre Cu ;
- pentru elementul Zn (figura 5.11), apare de asemenea o difuzie de cca 4 μm , din alamă către Cu ;
- elementul Fe, prezent ca și impuritate în compoziția alamei, prezintă de asemenea o difuzie de cca 4 μm (figura 5.12).

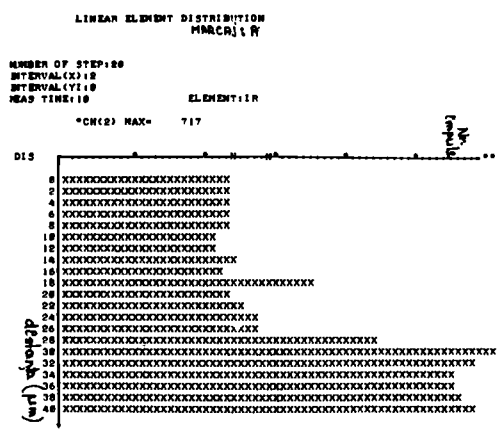


Fig.5.12 Variația elementului Fe din îmbinarea sudată - Cupru-alaiuri.

Imaginile de raze X a elementelor cupru și zinc sînt prezentate în figurile 5.13 și 5.14.

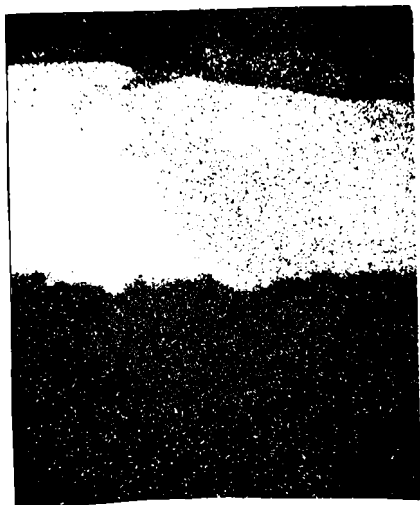


Fig.5.13. Imagine RX a elementului Cu (Kα) 300:1

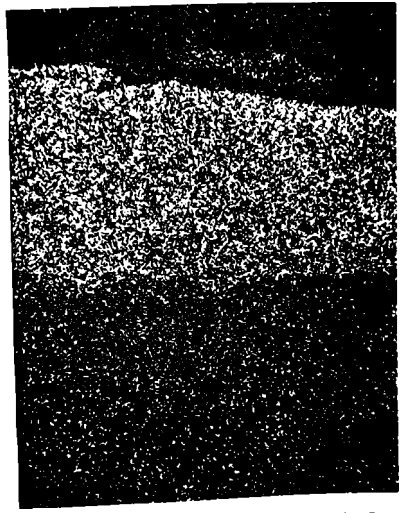


Fig.5.14. Imagine RX a elementului Zn (Kα) 300:1

5.4.2. Analiza distribuției și variației elementelor din îmbinarea sudată : Cu + Al

Probele sudate din folie de Cu, pe tablă din aluminiu, conform tabelului 5.4., au fost notate prin "MARCAJ-B". În figurile 5.15 și 5.16 se prezintă distribuția elementelor cupru și aluminiu pe o porțiune explorată de 40 μm, cu un pas de 2 μm, evidențiindu-se pentru ambele elemente o difuzie reciprocă de cca 6-8 μm.

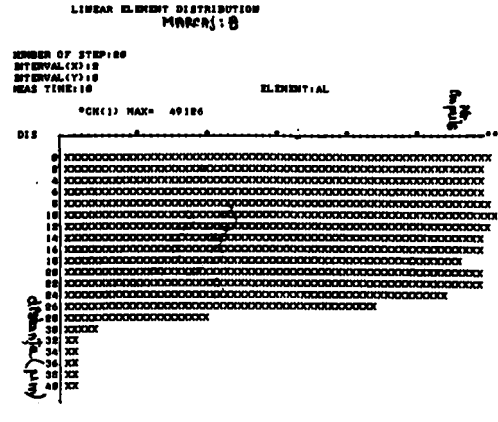
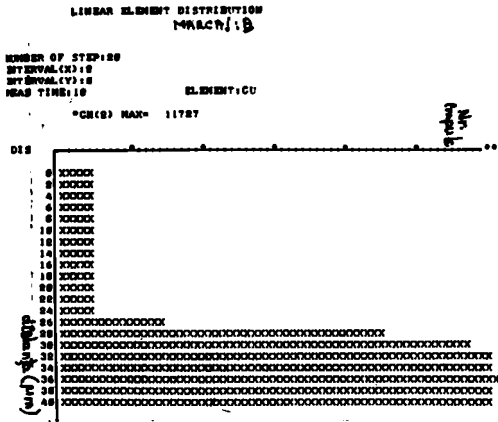


Fig.5.15. Variația elementului Cu din imbinarea sudată-Cu+Al.

Fig.5.16. Variația elementului Al din imbinarea sudată-Cu+Al.

Variația principalelor elemente în două zone explorate (din sudură), este prezentată în figurile 5.17 și 5.18. Se observă pe lângă existența cuprului și aluminului, ca elemente de bază, prezența fierului și zincului, elemente considerate ca impurități și care au o variație aproape constantă (figura 5.17). Variația complementară a elementelor de bază - cupru și aluminiu - este prezentată în figura 5.18. Imaginea topografică a îmbinării Cu+Al este prezentată în figura 5.19, iar imaginea de raze X a elementelor Cupru și aluminiu în figurile 5.20 și 5.21.

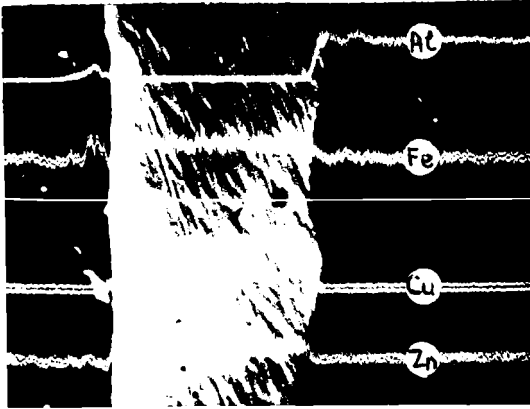


Fig.5.17.COMPD+variația Al(K α); Fe(K α); Cu(K α) și Zn(K α);500:1

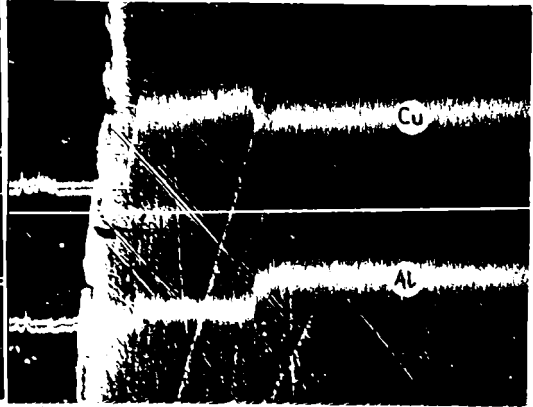


Fig.5.18.COMPD+variația Cu(K α); Al(K α); 300:1

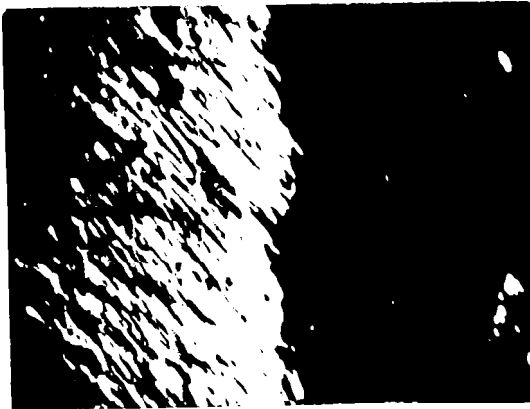


Fig.5.19. Imagine de electroni secundari; 500:1

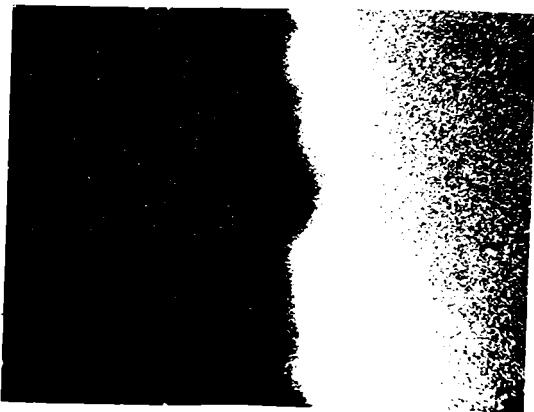


Fig.5.20. Imagine RX a elementului Al(K α); 500:1

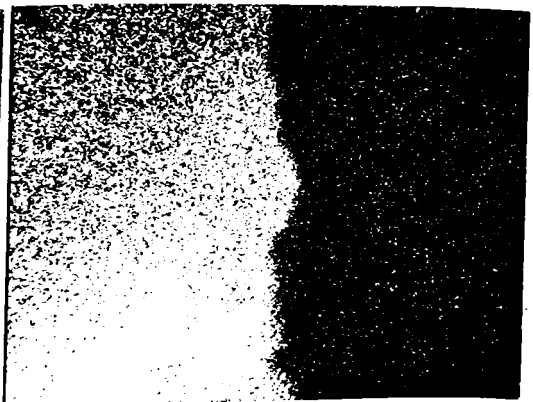


Fig.5.21. Imagine RX a elementului Cu(K α); 500:1

5.4.3. Analiza distribuției și variației elementelor din Imbinarea sudată : OL37 + INOX

Probele sudate din OL37 + oțel inoxidabil, realizate conform tabelului 5.5, au fost notate prin "MARCAJ-C". In figurile 5.22, 5.23 și 5.24 se prezintă distribuția elementelor: mangan, siliciu și fier, ce trec din OL37 către oțelul inoxidabil. iar în figurile 5.25; 5.26 și 5.27 distribuția elementelor: crom, nichel și fier, ce trec dinspre inox către OL37.

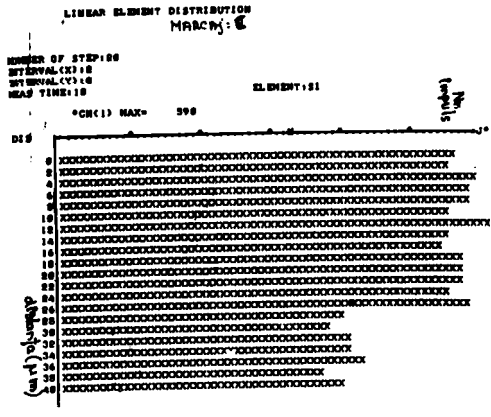
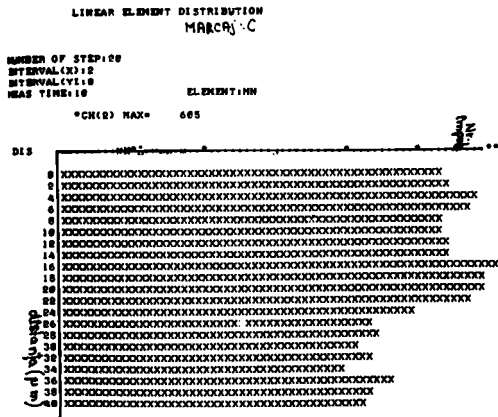


Fig. 5.22. Variatiile elementului Mn in imbinarea sudata : OL37 + inox.

Fig. 5.23. Variatiile elementului Si in imbinarea sudata : OL37 + inox.

Se remarcă existența unei zone de difuzie reciprocă ca o lățime cuprinsă între 10 și 12 μm, interval în care conținutul elementelor prezentate variază progresiv. Micile variații constatate în afara zonei de trecere la Mn, figura 5.28, ce pot atribui prezenței incluziunilor nemetalice. Variația elementelor crom; mangan și nichel este prezentată în figura 5.29.

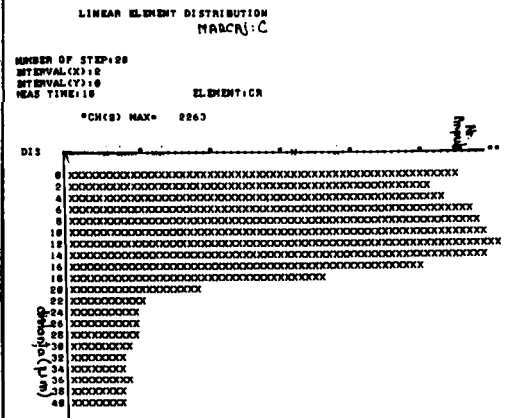
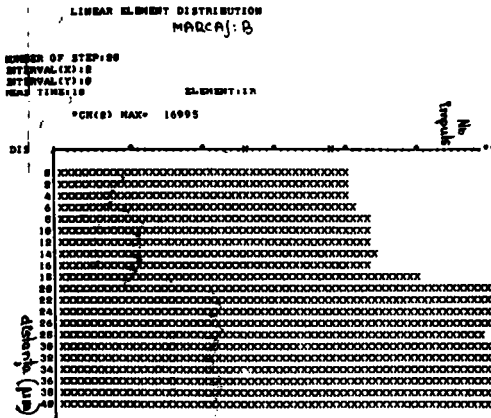


Fig.5.24. Variația elementului Fe din îmbinarea sudată: OL37+inox. Fig.5.25. Variația elementului Cr din îmbinarea sudată: OL37+inox.

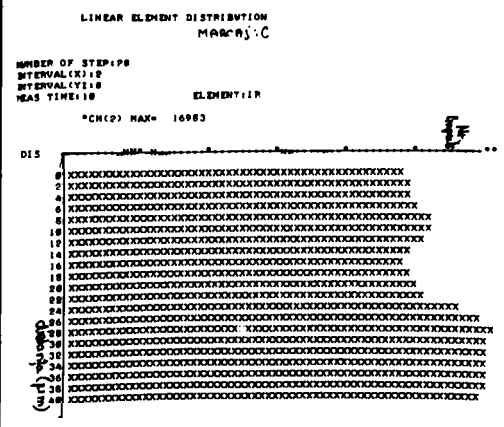
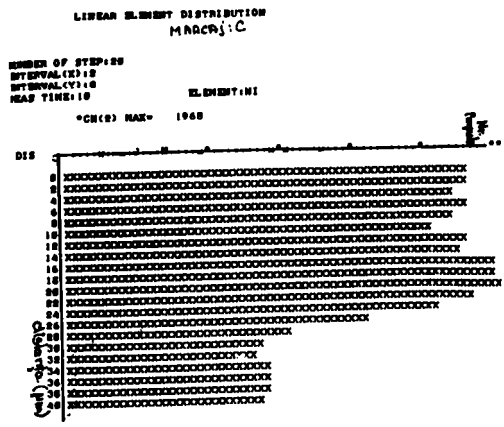


Fig.5.26. Variația elementului Ni din îmbinarea sudată: OL37+inox. Fig.5.27. Variația elementului Fe din îmbinarea sudată: OL37+inox.

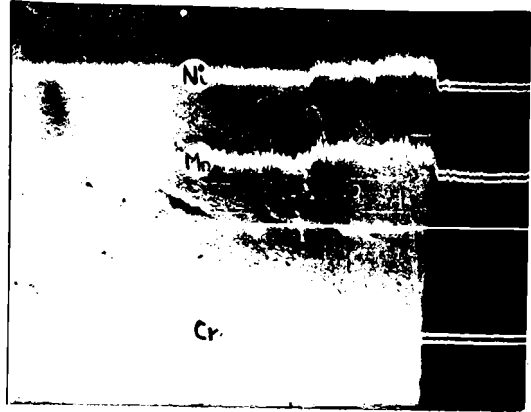
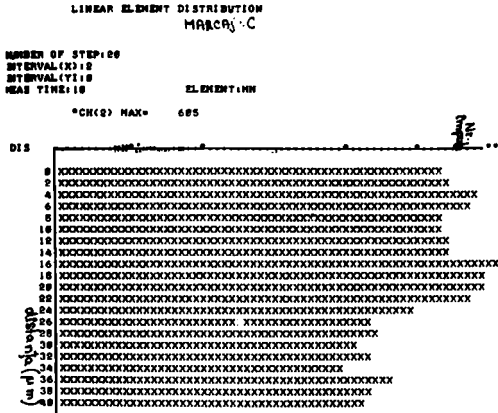


Fig. 5.29. COMPO+variația Ni;
Mn și Cr; 500:1

Fig. 5.28. Variația elementului
Mn în afara zonei de trecere :
0L37+inox.

5.5. Concluzii privind optimizarea sudării pe modelul MSC-2700

Determinările experimentale efectuate pe modelul MSC-2700, la sudarea: aluminiului, cuprului, oțel inoxidabil, sau combinații între diferite metale, au condus la stabilirea unor regimuri optime de sudare. Aceste regimuri, pot fi operativ determinate, diagramele prezentate în acest capitol.

Din analiza variației și distribuției elementelor din îmbinările sudate realizate, se constată că există o zonă de difuzie de minim 4...6 μm în cazul metalelor neferoase și de 10...12 μm la metalele feroase, care conferă îmbinările sudate o rezistență mecanică corespunzătoare.

5.6. Determinarea corelației și a regresiei multiple dintre Z_f , s, C și U.

Pentru determinarea corelației optime dintre rezistența la forfecare, - Z_f , secțiunea punctului de sudat, (grosimea metalului - s), capacitatea - C și tensiunea - U de încărcare a condensatoarelor, s-au efectuat o serie de încercări experimentale. În funcție de s, C și U s-a urmărit determinarea rezistenței optime care să ducă la o bună calitate a îmbinării sudate, în concordanță cu rezultatele experimentale din tabelele 5,2: ... 5.5. Pe baza prelucrării statistice simple a rezultatelor experimentale s-a dedus că influența cea mai mare asupra rezistenței la forfecare o au capacitatea și tensiunea de încărcare a condensatoarelor. Aplicînd metodele statistice ale corelației multiple care permit măsurarea influenței comune al celor 3 parametri (s, C și U) asupra rezistenței la forfecare, s-a considerat spațiul de corelație format cu valorile măsurate ale celor patru parametri studiați.

Astfel, suprafața de regresie liniară a lui Z_f , în raport cu cei 3 parametri s, C și U, care reprezintă un hiperplan în spațiul matematic cu 4 dimensiuni, este determinată printr-o ecuație de forma :

$$Z_f = \alpha + \beta s + \gamma C + \delta U, \quad (5.3)$$

în care coeficienții $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ - numiți coeficienți de regresie, arată ce pondere are influența fiecărei caracteristici factoriale s, C, U asupra variației caracteristicii Z_f și se determină cu ajutorul metodei celor mai mici pătrate, în așa fel ca dispersia abaterilor valorilor observate Z_f față de valorile determinate pe baza ecuației de regresie (5.3) să fie minimă deci:

$$\sum_{i=1}^n \left[Z_i - (\alpha + \beta s_i + \gamma C_i + \delta U_i) \right]^2 = \text{minim.} \quad (5.4)$$

Expresia (5.4) este de fapt o funcție de patru variabile, $F: \mathbb{R}^4 \rightarrow \mathbb{R}$, căreia impunîndu-i condiția de extrem se obține :

$$\left[\sum_{i=1}^n \alpha + \beta \sum_{i=1}^n s_i + \gamma \sum_{i=1}^n C_i + \delta \sum_{i=1}^n U_i = \sum_{i=1}^n Z_i \right.$$

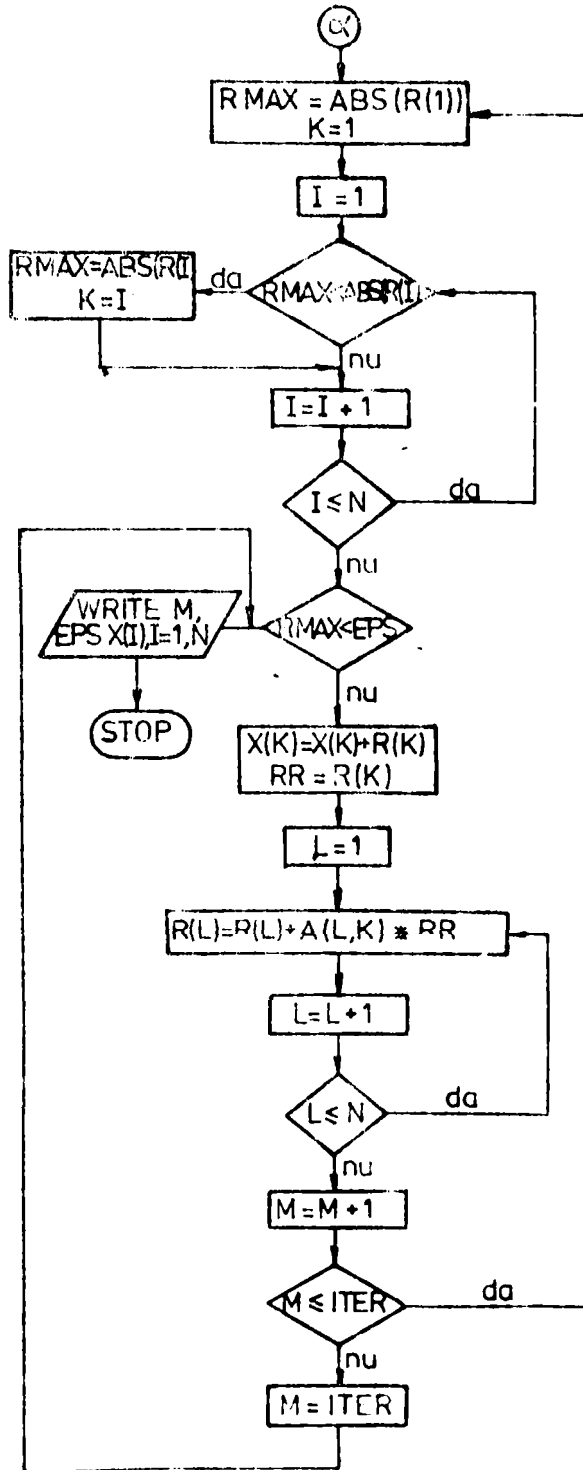
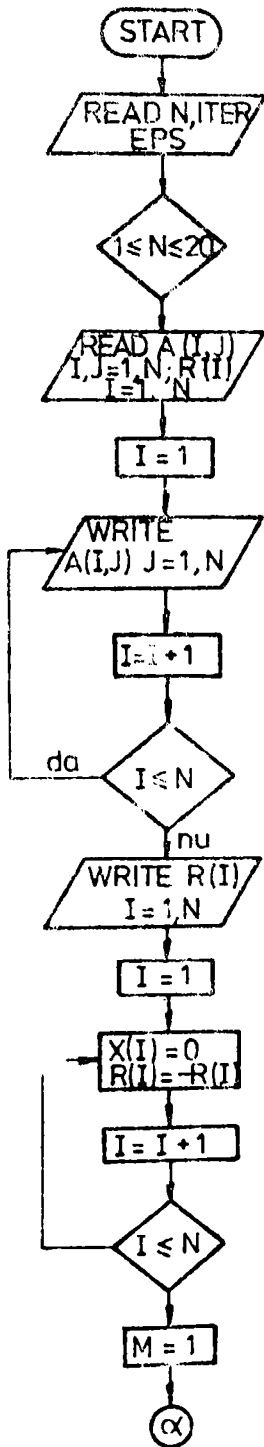
$$\left\{ \begin{aligned} \alpha \sum_{i=1}^n s_i + \beta \sum_{i=1}^n s_i^2 + \gamma \sum_{i=1}^n C_i s_i + \delta \sum_{i=1}^n U_i s_i &= \sum_{i=1}^n Z_i s_i \\ \alpha \sum_{i=1}^n C_i + \beta \sum_{i=1}^n s_i C_i + \gamma \sum_{i=1}^n C_i^2 + \delta \sum_{i=1}^n U_i C_i &= \sum_{i=1}^n Z_i C_i \\ \alpha \sum_{i=1}^n U_i + \beta \sum_{i=1}^n s_i U_i + \gamma \sum_{i=1}^n C_i U_i + \delta \sum_{i=1}^n U_i^2 &= \sum_{i=1}^n Z_i U_i \end{aligned} \right. \quad (5.5)$$

Sistemul (5.5) este liniar, care se rezolvă prin metodele în matematică. În cazul cercetărilor efectuate în lucrare și pe baza datelor experimentale din tabelul 5.6 la gădarea tablelor din aluminiu s-a obținut sistemul (5.6)

Tabelul 5.6.

Nr. probei	Parametrii					Efortul unitar la rupere Z_f (daN/mm ²)
	s (mm)	J_{3A} (μF)	C_{3A} (μF)	U_C (V)	Ni panote	
o	1	2	2	4	5	6
1	0,53+0,53	8000	12.000	250	1	9,22
2	0,53+0,53	8000	12.000	250	1	9,33
3	0,53+0,53	8000	12.000	250	1	9,87
4	0,53+0,53	8000	12.000	250	1	10,12
5	0,53+0,53	8000	12.000	250	1	9,9
6	0,53+0,53	8000	4.000	250	1	7,32
7	0,53+0,53	8000	8.000	250	1	8,21
8	0,53+0,53	8000	12.000	250	1	8,32
9	0,53+0,53	8000	13.000	250	1	8,52
10	0,53+0,53	8000	16.000	250	1	8,32

$$\left\{ \begin{aligned} 10\alpha + 5,3\beta + 113\gamma + 2500\delta &= 10,12 \\ 5,5\alpha + 2,809\beta + 50,29\gamma + 1325\delta &= 48,30 \\ 113\alpha + 50,29\beta + 1369\gamma + 2825\delta &= 737,64 \\ 2500\alpha + 1325\beta + 2825\gamma + 625\delta &= 2272,5 \end{aligned} \right. \quad (5.6)$$



Prin urmare, regresia multiplă dintre rezistența la forfecare τ_f și: s, C și U este dată prin relația (5.7) :

$$\tau_f = \alpha_0 + \beta_0 s + \gamma_0 C + \delta_0 U \quad (5.7)$$

Sistemul dat de relația (5.6) a fost rezolvat pe calculatorul, FELIX C - 512, după ordinograma prezentată în acest paragraf și programul G3, anexat.

Soluțiile sistemului (5.6) sînt : $\alpha_0 = 21,203$; $\beta_0 = -0,53$; $\gamma_0 = 2,84$; $\delta_0 = 0,05$.

Se observă că regresia multiplă, care reprezintă influența exercitată asupra variabilei dependente - τ_f - de variația simultană a tuturor factorilor de influență analizată (s, C și U) este dată de relația (5.8)

$$\tau_f = 21,203 - 0,53 s + 2,84 C + 0,05 U \quad (5.8)$$

Coefficienții de regresie: α , β , γ și δ arată prin urmare gradul de influență a parametrilor de sudare (s, C și U), asupra rezistenței τ_f . Astfel, în cazul regresiei multiple, coeficienții: α_0 , β_0 , γ_0 și δ_0 , arată cu cât anume variază τ_f , atunci cînd caracteristica factorială respectivă (s, C și U) variază cu o unitate, în ipoteza că celelalte caracteristici factoriale se mențin la un nivel constant.

În relația (5.8), coeficientul de regresie $\delta_0 = 0,05$ (de exemplu), arată că dacă tensiunea pe condensatoare crește cu 5% pentru aceiași s și C, atunci rezistența τ_f se mărește cu cca 2,2 daN/mm². Dacă grosimea tablelor ce se sudează se mărește, iar ceilalți parametri sînt menținuți constanți, cum este și de așteptat, τ_f scade, și așa mai departe. Rezultatul obținut din regresia multiplă, între : τ_f , s, C și U, poate fi folosit la stabilirea valorilor parametrilor de sudare (C și U) pentru o anumită grosime de tablă ce se sudează astfel ca τ_f să fie maxim.

CAPITOLUL 6

CONSIDERATIILE FINALE SI CONTRIBUTII ORIGINALE

Sudarea prin presiune în puncte cu energie înmagazinată în condensatoare, este un procedeu neconvențional, dar cu domenii de utilizare în continuă creștere, îndeosebi la sudarea tablelor, foililor și sîrmelor de grosime 0,05 + 0,05 mm, pînă la 2,0 + 2,0 mm, din aluminiu, cupru, alamă, oțel inoxidabil, nichel, etc. Procedul asigură - datorită particularităților și condițiilor specifice de realizare a îmbinărilor sudate - o calitate superioară sudurilor.

În baza lucrării elaborate, a modelului experimental realizat și în baza rezultatelor practice obținute, se pot preciza următoarele considerații finale și contribuții originale.

6.1. Considerații finale

6.1.1. Cu privire la domeniile de aplicabilitate ale procedurii de sudare cu energie înmagazinată în condensatoare:

a). Se recomandă aplicarea procedurii, atât la sudare în puncte, cît și pentru sudarea cap la cap, respectiv în linie a unor materiale incompatibile a se suda prin alte procedee.

b). S-a demonstrat că sudarea prin acest procedeu, se poate aplica cu rezultate foarte bune, la realizarea unor îmbinări între două, sau chiar mai multe table, respectiv sîrme, de grosimi și din materialele menționate mai înainte. Procedul se poate aplica și la realizarea unor îmbinări dintre două materiale diferite: exemplu, aluminiu + cupru; alamă + cupru; oțel inoxidabil + oțel de construcție, etc.

c). La sudarea a două materiale omogene, nucleul punctului sudat este corect format și simetric plasat între cele două piese, pînă la un raport dintre grosimile lor de 1/10 cu condiția ca regimul de lucru să fie optim. De menționat, că la alte procedee de sudare prin presiune în puncte, acest raport este de cel mult 1/3.

d). La sudarea prin procedul prezentat, forța de stringere a electrozilor, se poate păstra constantă pe durata unui ciclu de lucru, sau poate fi modificată după un anumit program.

e). Imbinările sudate prin presiune în puncte, din: aluminiu, cupru, oțel inoxidabil și combinații, între acestea, pe modelul MSC-2700, își păstrează rezistența materialului de bază, deoarece modificările structurale din zonele vecine punctului sudat (ZIT-ul); sînt foarte mici.

6.1.2. Cu privire la concepția și execuția transformatorului de sudare

a). Transformatorul mașinilor de sudat prin presiune în puncte cu energie înmagazinată în condensatoare, funcționează în regim de impuls, practic durată relativă de lucru, $DA \leq 2\%$. De aceea regimul de lucru al acestor transformatoare este total diferit de regimul de lucru al transformatoarelor alimentate cu tensiune sinusoidală - 50 Hz, rezultînd următoarele concluzii și precizări :

- forma impulsului curentului de descărcare al condensatoarelor, insuficient cunoscută și stăpînită pentru unele variante ale regimului de sudare, introduce modificări importante în calculul electromagnetic al transformatorului;

- pentru a se evita probabilitatea saturației miezului magnetic al transformatorului, la anumite regimuri de lucru și/sau după mai multe cicluri de sudare, se poate adopta - cu rezultate

- și soluția realizată pe modelul MSC-2700 (descărcarea curenților de preîncălzire și sudare prin transformatorul de sudare, cu reversarea alternativă a sensului acestora);

- este recomandabil ca miezul magnetic al transformatorului să fie dimensionat pentru fluxul maxim. Această creștere de secțiune reprezintă ca valoare, aproximativ 1% din costul total al mașinii;

- transformatoarele de sudare utilizată la mașinile cu condensatoare, trebuie concepute și executate într-o variantă la care dispersia să fie minimă.

b). Experimentările efectuate pe modelul MSC-2700, la sudarea totețelor din aluminiu, cupru, oțel inoxidabil, alamă, etc, au demonstrat că forma și caracterul impulsului de sudare (periodic, amortizat, aperiodic, sau cu atenuare critică), au o influență și asupra stabilității imbinării și asupra stropirilor inițiale a metalului din zona respectivă, după cum urmează :

- modificarea corespunzătoare a formei impulsului curentului de sudare, conduce la micșorarea vitezei de creștere a temperaturii în locul sudării, respectiv se poate influența topirea ;

- utilizarea unui ciclu de sudare cu impuls de preîncălzire, conduce la reducerea vitezei de creștere a temperaturii în zona sudării, cu influență și asupra vitezei de topire;

- o viteză de creștere optimă a curentului de sudare, face ca și pierderile în transformator să fie minime.

c). Soluția impusă și utilizată la modelul experimental MSC-2700, privind sudarea cu două impulsuri - în cadrul aceluiași ciclu - asigurate de către două baterii de condensatoare care se încarcă de la o sursă comună prin circuite electrice separate, a condus la reducerea, sau chiar evitarea stropirilor în zona sudurii.

6.1.3. Cu privire la parametrii regimului de sudare.

a). Pentru determinarea valorii maxime și a variației curentului de sudare se recomandă relațiile și metodologia prezentată în capitolul 4 al tezei.

b). În procesul sudării, energia înmagazinată în condensatoare se transformă prin intermediul transformatorului de sudare, într-un impuls, care datorită pierderilor importante de energie în circuitul de sudare și în piesă, se amortizează rapid - 0,2... 10 milisecunde.

c). Dacă în schema electrică a mașinii se utilizează o diodă, sau un tiristor, pentru șuntarea înfășurării primare a transformatorului de sudare, procesul tranzitoriu se modifică.

d). Pentru modelul experimental MSC-2700, caracterul impulsului de sudare este aperiodic, sau cu atenuare critică (a se vedea oscilogramele prezentate în capitolul 4 al tezei).

e). Forma și durata de descărcare a impulsului se pot influența prin parametrii mașinii : capacitatea bateriei condensatoarelor, tensiunea de încărcare a condensatoarelor și în mod cu totul deosebit, prin modificarea corespunzătoare a raportului de transformare K al transformatorului de sudare.

f). La sudarea metalelor cu aceleași proprietăți fizico-mecanice, dar de grosime diferită, parametrii regimului de sudare depind și se stabilesc pentru grosimea piesei mai subțiri.

g). Nomogramele stabilite în capitolul 5 din teză, pentru alegerea operativă a parametrilor regimului de sudare, sînt valabile numai la modelul experimental MSC-2700. Asemenea diagrame, pot fi însă determinate experimental pentru fiecare mașină în parte.

6.1.4. Cu privire la concepția și execuția în soluție optimă a mașinilor de sudat prin presiune cu energie înmagazinată în condensatoare.

a). Modelul experimental MSC-2700, conceput și realizat în totalitate la catedra Utilajul și tehnologia sudării, de la Facultatea de Mecanică, din I.P.T.V.T, a permis realizarea întregului program experimental privind, nu numai obținerea unor îmbinări sudate de calitate, ci și tragerea unor concluzii de optimizare a acestora. Astfel, mașina a fost solicitată și la regimul maxim, obținându-se în secundar un impuls a cărui valoare maximă este de aproape 70 kA, pentru un timp de 1.10^{-3} secunde,

b). Fluctuațiile tensiunii rețelei în limitele admise de 25%, nu are o influență sensibilă asupra stabilității procesului de sudare - la modelul realizat. Pentru fluctuații mai mari decât limitele admise, mașinile trebuie prevăzute cu stabilizatoare de tensiune.

c). Condensatoarele electrolitice - care prin punerea în paralel - formează, nu numai consumatorul principal al mașinii, ci și sistemul energetic de acumulare (dozare) precisă a energiei electrice, trebuie să fie în prealabil testate și formate pe un stand. De asemeni, condensatoarele trebuie prevăzute cu un sistem de protecție la supracurenți.

d). Ciclul de sudare se recomandă să fi desfășurat sub forță de stringere constantă a electrozilor, sau, sau două impulsuri de sudare.

e). Se pot obține regimuri de sudare într-un număr extrem de mare. Astfel, de exemplu la modelul realizat, prin punerea în paralel a condensatoarelor au rezultat 119 regimuri, la K și $U_c = \text{const.}$ Dacă se modifică și raportul de transformare $K = 15; 30; 45$ și 60 - rezultă un număr de regimuri posibile de 4×19 , la $U_c = \text{const.}$ Însă și tensiunea de încărcare U_c a condensatorilor poate fi modificată continuu în limitele dorite.

6.2. Contribuții originale

În capitolele 2,3,4 și 5 din teză sînt prezentate o serie de rezultate originale, care constituie revendicări tehnico-științifice ale autorului, din care se evidențiază :

6.2.1. În domeniul cercetării fundamentale.

a). Studii și cercetări privind optimizarea procesului și schemelor de încărcare a bateriilor de capacitate mare - 50.000 la 100.000 μF - sub tensiuni de 250 ... 300 V, realizate din condensatoare electrolitice.

b). Cercetări privind optimizarea procesului și schemelor de descărcare a bateriilor de condensatoare prin transformatorul de sudare, în vederea obținerii unor impulsuri de curent cu caracter aperiodic, sau cu atenuare critică.

c). Cercetarea stabilității energiei acumulate în bateriile de capacitate 100.000 μF la 300 V, formate din condensatoare electrolitice.

d). Metodă de calcul pentru curentul de sudare, abordînd schemele și ecuațiile operaționale ale circuitului R-C-L.

e). Elaborarea a două programe în limbaj BASIC - PRAE. Primul program este folosit la determinarea caracterului impulsului curentului de sudare pentru modelul experimental realizat, iar al doilea program este utilizat în scopul determinării formei, (variației) și valorii maxime a curentului de sudare.

f). Îmbunătățirea metodei de calcul pentru transformatoarele de sudare cu miez în manta utilizate la sudarea cu energie înmagazinată în câmp electrostatic.

g). Elaborarea unor nomograme, în vederea stabilirii rapide și precise, a parametrilor de sudare pentru componente din: aluminiu, cupru și oțel inoxidabil pe modelul MSC-2700.

6.2.2. În domeniul cercetării aplicative.

a). Concepția și realizarea unui "Stand pentru încercarea la șoc a condensatoarelor electrolitice" ce formează bateriile de la mașinile de sudat prin presiune cu energie acumulată în câmp electrostatic. Această lucrare constituie obiectul unui certificat de inovație, înregistrat la I.P.T.V.T cu numărul S/24 din 12.II.1987.

b). Concepția și realizarea "unui" transformator de sudare prin impuls pentru modelul MSC-2700, înregistrat ca certificat de inovație la I.P.T.V.T. cu nr. S/47 din 19.III.1987.

c). Concepția și realizarea unei mașini de sudat prin proiune în puncte cu energie acumulată în câmp electrostatic de 2,7 KJ, energie în bateria principală și de 1,8 KJ energie în bateria auxiliară. Mașina a fost executată la catedra UTS de la facultatea de Mecanică din I.P.T.V.T. ca model experimentat sub indicativul MSC-2700.

d). Concepția și realizarea schemei electrice de la modelul MSC-2700 în variantă optimă, cu realizarea unor cicluri și regimuri de sudare funcție de necesitățile tehnologiei de sudare.

e). Concepția și realizarea unui circuit exterior (de sudare) la modelul MSC-2700 în variantă optimă.

f). Cercetarea influenței parametrilor circuitului exterior, asupra impulsului de sudare, prin elaborarea unei scheme și a unui program de oscilografieră a acestuia.

g). Stabilirea parametrilor optimi de sudare a aluminiului, cuprului, etc. pe modelul MSC-2700.

h). Cercetarea transformărilor structurale a punctelor sudate cu ajutorul microscopiei optice și electronice în cazurile :

- sudarea în puncte cu energie înmagazinată a aluminiului ;
- sudarea în puncte cu energie înmagazinată a aluminiului cu cupru;
- sudarea în puncte cu energie înmagazinată a al. cuprului cu alamă;
- sudarea în puncte cu energie înmagazinată a oțelului inoxidabil cu oțel OL 37.

NOTAȚII ȘI PRESCURTĂRI FOLOSITE ÎN TEXT

- A - suprafața (Secțiune)
- $a_i (i=1, 2)$ - întrerupător
- $b_i (i=1, 2)$ - butoane de pornire - oprire ;
- B - inducție magnetică;
- BCA - baterie condensatoare auxiliare;
- BCD - bloc comandă descărcarea condensatoarelor;
- BCR₁ - bloc comandă și reglare încălzire condensatoare;
- BRID - bloc reglare-interblocare a descărcării condensatoarelor;
- BRM - bloc reglare - măsurare a parametrilor de încălzire a condensatoarelor;
- C - capacitatea condensatoarelor;
- C_i - contactoare;
- DA - durata relativă de funcționare;
- d - diametrul electrodului de sudare;
- $d_i (i=2...)$ - relee intermediare;
- E - energia acumulată în condensatoare;
- f - frecvența rețelei electrice;
- H - intensitatea câmpului magnetic;
- I sau i - intensitatea curentului de sudare;
- \hat{j} - densitatea de curent;
- K sau K_{Tg} - raportul de transformare al Tg;
- L - inductivitate;
- M30-2700 - mașină de sudat cu energie înmagazinată în condensatoare de 2700 Joule;
- m și n - constante pentru circuitele de descărcare al condensatoarelor;
- P - puterea activă;
- p_R - presiunea aerului comprimat;
- PR_i (i=1, 2) - punte redresoare;
- R - rezistența electrică;
- S_n - puterea aparentă;
- s - grosimea plăcilor;
- S_{Fe} - secțiunea fierului;
- t - timpul în secunde sau minute;

- t_{inc} - timpul de încărcare al condensatoarelor;
- t_{inc}^* - timpul de încărcare al condensatoarelor în unități relative;
- t_d - timpul de descărcare al condensatoarelor;
- T - constantă de timp;
- TART - transformator auxiliar cu posibilitatea reglării tensiunii;
- $T_i (i=1, 2, \dots)$ - tiristoare;
- U - tensiunea;
- U_c - tensiunea pe condensatoare;
- U_{CBP} - tensiunea bateriei de condensatoare principale;
- U_{CBA} - tensiunea bateriei de condensatoare auxiliare;
- U_s - tensiunea sursei de alimentare;
- ΔW - pierderile de energie din înfășurările transformatorului de sudare;
- X - reactanța;
- Z - impedanța;
- Q - căldura degajată la sudare;
- a_{Cu} - secțiunea conductorilor de cupru;
- α - unghiul de deschidere al tiristoarelor;
- δ - constantă ce reprezintă raportul dintre tensiunile: U_c^-/U_c ;
- ϵ - permitivitatea dielectrică;
- η - randamentul;
- λ și ξ - constante adimensionale;
- Φ - fluxul magnetic;
- φ - unghi de defazaj
- ω - frecvența unghiulară a rețelei;
- ρ - rezistivitatea electrică.

BIBLIOGRAFIE

1. Nicolae Ceaușescu, - Raport la cel de-al XIII-lea Congres al Partidului Comunist Ro An, Editura politică, București, 1984.
2. Nicolae Ceaușescu, - Cuvîntare la Plenara Consiliului Național al Frontului Democrației și Unității Socialiste, 28 martie 1986, Editura politică, București.
3. Nicolae Ceaușescu, - Cuvîntare la Plenara Comitetului Central al Partidului Comunist Român, 23 iunie 1986, Editura politică, București.
4. Nicolae Ceaușescu, - Cuvîntarea la Congresul Științei și Învățămîntului, 28 noiembrie 1985, București, Editura Politică.
5. Alais, H., - Procédés de soudage à l'arc plasma Tiré à part du Bulletin 3', Genève, 1967.
6. Alov, A.A., Bulgacov, A.B. - Formirovanie litogo indra pri toceninnoi i roluovoi svarche; "Avtomaticescnaia svarcha" nr.12/1966.
7. Angheloa, N., Popovici, V.I., ș.a. - Sudarea în mediu de gaze protectoare, Editura tehnică, București 1981.
8. Avram, I., Sălăgean, T., - Procedee conexe sudării. Editura tehnică, București 1968.
9. Axelrood, A.F. ș.a. - Kontaktnaia Svarcha
10. Babat, G.I., - High notage condenser welding. "The American Welding Society Journal", August 1965.
11. Berdinschin, G.S., - Sistem de încălzire a bateriilor de condensatoare cu limitator de curent. "Avtomaticescnaia Svarcha".nr.7, 1968.
12. Belikov, D.A., Kasnrtev, L.P., - Privodi liteinfh mašin, Mașinostroenie - Moskva 1971.
13. Blom, W., - Zerstörungsfreie Gutekontrolle von Punktschweißverbindungen während des Schweißvorganges, ZfS-Mitteilungen, 10; 1968, pag 52-62.

14. Boarna, C.I., ș.a., - Procedee neconvenționale de sudare, Editura Facla, Timișoara 1980.
15. Boicu, N., - Contactul elastic linear, Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1977.
16. Cătușeanu, V.H., - Teoria Fiabilității și controlului statistic, Litografia Institutului Politehnic București, 1973.
17. Centea, O., Micloși, V., - Mașini și aparate pentru sudarea electrică Editura tehnică, București 1967.
18. Chollet, B., - Conversion an chaleur de l'énergie accumulée dans un condensateur, Mécanique Electrique France 46, nr.16/décembre 1962.
19. Colan, H., - Studiul metalelor, Editura Institutului Politehnic Cluj-Napoca, 1977.
20. Cordner, J.E., - Dual energy percussive arc welding System Pat SUA, CP 219-95, nr.3325622, 13.06.1967
21. Costache, H., ș.a., - Portran, Editura tehnică, București, 1971.
22. Coșoroabă, Th, ș.a., - Acționări pneumatice, Editura Tehnică București, 1975.
23. De Sabata, I., - Bazele electrotehnicii, vol. I, Litografia Institutului Politehnic Timișoara, 1972.
24. De Sabata, I., - Bazele electrotehnicii, " " II, Litografia Institutului Politehnic Timișoara, 1974.
25. Deutsch, V., - Prüfung von Punktschweißungen in der Fertigung, "Z Intern-Sympas Ultraschall materialprüfung" Dresden, 1966.
26. Deuzel, P., Laufen, R., - Vermeidungen von sprannungschwongung durch im Takt arteifende. Schweissmaschinen, westdeutscher Verlag, Köln und Oploden, 1965.
27. Dobrescu, L., - Fenomene de suprafață la metale și aliaje, Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1970

28. Domşa, A., ș.a., - Materiale metalice în construcția de mașini, Editura dacia, Cluj-Napoca, 1981 (partea I).

29. Domşa, A., ș.a., - Materiale metalice în construcția de mașini, Editura dacia, Cluj-Napoca, 1981 (partea a II-a).

30. Dordea, T., - Mașini electrice, Editura didactică și pedagogică, București, 1970.

31. Echtermayer, F., - Impuls transformator für elektrische widerstandsschweißgeräte, Patent RDT (2209/65).

32. Eichon, F., Schaefer, R., Chanem, H., - Lichtbogenpressschweißen von Aluminium Kolzen auf Stahlblech noch dem Kondensatorentladungsvfahren, "Ind.Anz." 1967, 89 nr.96.

33. Erofeev, I. A., - Impulsnite ustroistva na adnoperhodnib tranzistor M. Sviofi 1974 pag.72.

34. Frügel, F., - Das Kondensator Impulsschweißen. "Schweißen und Schneiden" nr.1.1960

35. Frügel, F., - Impulstechnik. Erzeugung und Anwendung von Kondensatorentladungen Akademische verlogsgesellschaft, Leipzig, 1960.

36. Gâdea, S., ș.a., - Aliaje negeroase, Editura tehnica, București, 1965.

37. Gâdea, S., ș.a., - Metalurgia fizică a semiconductorilor, Editura Academiei Republicii Socialiste România, București, 1963.

38. Gâdea, S., ș.a., - Metalurgia fizică și studiul metalelor, Editura didactică și pedagogică, București, 1979-partea I-a.

39. Gâdea, S., ș.a., - Metalurgia fizică și studiul metalelor, Editura didactică și pedagogică, București, 1981; parte a II-a.

40. Ghelman, A. G., - Tehnologia sudării prin rezistență de contact, Moscova, 1952.

41. Glebov, L. V., - Oprelenievtaricinoogo napreojenia transformatorov mașin contactnoi sverchi. "Vestnic electropromislenasti" nr.6.1958

42. Glebov, L.V., - Reskarev, H.A., - Rasciot i Konstruirovanie mašin Kontaktnoi Svarki, "Energia Leningradskoe otdelenie". 1968.
43. Glebov, L.V., - Iofe, N.I., - Filippov, J.I., - Calculul circuitului de încărcare al mașinilor de sudat cu energie înmagazinată. "Avtomaticeskaia svarka" nr.7.1979 pag.27-30.
44. Gliță, Gh., Voichescu, N., - Soluții noi în construcția mașinilor de sudat cu energie înmagazinată în condensatoare. Sesiunea a XXIII-a Institutul Politehnic Timișoara, 1985.
45. Gliță, Gh., ș.a., - Utilajele sudării electrice. Indrumător de laborator, Litografia Institutului Politehnic Timișoara, 1980.
46. Gliță, Gh., Borza, I., - Echipament pentru sudarea în puncte cu A. E. în mediu de gaz protector, "Simpozion-soluții noi, eficiente în proiectarea și execuția structurilor", I.C.C.R.D.C., Timișoara 14-15.XI.1986.
47. Gliță, Gh., - Bazele proiectării transformatoarelor pentru mașinile de sudat prin presiune cu energie înmagazinată în condensatori, Referat 1. din programul de pregătire al tezei. Institutul Politehnic "Traian Vuia" Timișoara, 1978.
48. Gliță, Gh., - Studiul unui transformator cu dispersie minimă pentru mașinile de sudat prin presiune cu energie înmagazinată în condensatoare. Referat 2 din programul de pregătire al tezei, Institutul Politehnic, "Traian Vuia" Timișoara, 1978.
49. Gliță, Gh., - Cercetarea influenței elementelor circuitului de descărcare la mașinile de sudat prin presiune în câmp electrostatic, Referat 3 din programul de pregătire al tezei, Institutul Politehnic "Traian Vuia", Timișoara, 1979

50. Haralambie, M., - Aparate pneumatice pentru mecanizare și automatizare, Editura Tehnică, București, 1975.
51. Hosiagava, Ia., - Tovecino-Svarocinaia mașina condensatornova tipa, Marki "Oridgin" Oridgin electric CO., LTD Tokyo.
52. Ionescu, M., ș.a., - Despre analiza sudabilității metalurgice și tehnologice a aluminiului 99,5 de proveniență românească. Conferința de sudură și încercări de metale, Timișoara, 1969.
53. Iuhas - Popovici, C., Gliță, Gh., - Limitarea tensiunii de mers în gol a transformatorilor de sudare, "Buletin științific și tehnic" al Institutului Politehnic Timișoara, Fascicule 1-1920, Tom 25(39).
54. Kluge, W., - Tiratrane ET2, 63(1942) 204-207
55. Kocianovski, N. I., - Mașini dlio. Kontaktnoi elektrosvarki Grošenergoizdlot, Moskva 1954.
56. Lancaster, J. R., - Metallurgy of Welding, Editura George Allen, London, 1980.
57. Lăzărescu, I., - Alumiul, Editura tehnică, 1978.
58. Leureux, G. E., Belotte, E. J., - Le sondage par resistance, Dumo d, Paris, 1965.
59. Lobasov, I. M., Lavrehov, V. S., - Sistem de încărcare a bateriilor de condensatoare la mașinile de sudat cu energie înmagazinată; Avtomaticeskaia svarka, 1981 nr. 9, pag. 73-75.
60. Maltev, M., - Modificarea structurii metalelor și aliajelor Editura tehnică, 1966.
61. Masuda, S., - Kondensatornye, svarocnye mașini morki "ORIDGIN", Oridgin Denki CO. LTD, Tokyo.
62. Medal, H., - Sudarea cu condensatori "Zvaranie" nr. 8, 1963, 223-226 (ze 253/1963).
63. Meriam, C. I., - The welding, processes, Materials in Design, Engng Au glw. 51, nr. 1/1960.
64. Micloș, V., Andreescu, P., Lupu, V. - Echipamente pentru sudare, Editura didactică și pedagogică, București, 1984.

65. Mihoc, Gh. ș.a., - Tratat de statistică matematică, vol. I, II și III. Editura Academiei Republicii Socialiste România, 1977.
66. Mocanu, D.R., ș.a., - Controlul sudurilor cu ajutorul ultrasunetelor, București. I.D.T. 1965.
67. Mocanu, D.R., Buca, M., - Calculul prețului de cost al îmbinărilor sudate, București P.F.-1956.
68. Moravski, V.E., - O metode rosciaton ocoplenoi energhii dlea tcacinoi condensatornoi svarchi toncogormetalu, "Avtomaticeskaia svarca" nr.2.1961
69. Moravski, V.E., - Svorka akumulirovannoi energhi, Tehničeskaia Literatura URSS, KIEV, 1963.
70. Morariu, St., - Transformări în îmbinările sudate ale oțelurilor. Editura Facla Timișoara 1984.
71. Nakoo, M., - Kondensatornie kontaktnie evapocinfe mașini, Origin electric CO. LTD-Tokyo.
72. Nanu, A., - Tehnologia materialelor, Editura didactică și pedagogică, București, 1983
73. Nanu, S., - Contribuții la sudarea prin presiune în câmp ultrasonor a tablelor din aluminiu, Teză de doctorat Timișoara, 1985.
74. Nicolaide, A., - Mașini electrice teorie, proiectare, vol. Editura Scrisul Românesc, Craiova 1975.
75. Paton, B.E. și Lebedev, B.K., - Elektro- dbarudosanie dlia kontaktnoi varki, Mașinastroenie, Moskva 1969.
76. Pențegov, I.V., - Osnovi teorii i rasčeta zariodnih Ńepej, emkost. i nakopitelei energhii. Avtopef dis dno tehniki, name..krev, Institut Electričeskii AN SSSR, 1974.
77. Popovici, Vl., - Cercetări asupra sudurii prin presiune în puncte a tablelor subțiri de aluminiu și a unor plăci de aluminiu, cu energie înmagazinată în câmp electrostatic, Teză de doctorat, Timișoara, 1968.

78. Popovici, Vl., Ivancenکو, A., - Utilajele sudurii electrice, Editura didactică și pedagogică, București, 1968.
79. Popovici, Vl., Gliță, Gh., ș.a. - Utilajele sudării electrice, vol. I, Litografia Institutului Politehnic Timișoara, 1980.
80. Popovici, Vl., Gliță, Gh., ș.a. - Utilajele sudării electrice, vol. II, Litografia Institutului Politehnic Timișoara, 1981.
81. Popovici, Vl., Negoitescu, St., Gliță, Gh., - Echipamente pentru sudare, Litografia Institutului Politehnic Timișoara, 1980.
82. Popovici, Vl., Negoitescu, St., Gliță, Gh., - Echipamente pentru sudare, Litografia Institutului Politehnic Timișoara, 1985.
83. Popovici, Vl., ș.a. - Considerații privind structura unor aliaje de aluminiu sudabile, sesiunea de comunicări. Institutul Politehnic Timișoara, 1969.
84. Popovici, Vl., Sălăgean, Tr., Negoitescu St., - Mecanizarea și automatizarea procesului de sudare partea I și partea II. Litografia Institutului Politehnic Timișoara, 1975.
85. Popovici, Vl., Sălăgean, Tr., - Incercări de sudare prin puncte cu energie înmagazinată, A III-a Conferință de Sudură și încercări de metale, Timișoara 1-4 Dec. 1954.
86. Popovici, Vl., - Sudarea prin puncte a metalelor de grosime diferită cu energie înmagazinată în câmp electrostatic, Conferința de sudură și încercări de materiale, Timișoara 1969.
87. Popovici, Vl., - Sudarea cu energie înmagazinată în câmp electrostatic MEI-Curs de perfecționare în domeniul sudării, vol. 12, 1972.
88. Radu, D., - Tehnologia sudării electrice, vol. I și II, Litografia Institutului Politehnic Timișoara, 1980.

89. Renne, V.T., - Electriceschie condensatorf, izdz, Gajnermergoizdat, 1954
90. Richer, R., - Maşini electrice, vol. 1, 2 şi 3, Editura tehnică, Bucureşti, 1958-1961
91. Rikalin, N.N., - Rassiat teplonih protesor pri svarche. Masghiz, 1957.
92. Ristea, I., Stan F., - Condensatoare, Editura tehnică, Bucureşti, 1964.
93. Safta, V., - Controlul îmbinărilor şi produselor sudate, Editura Facla, 1984.
94. Safta, V., - Controlul îmbinărilor şi produselor sudate, Editura Facla, 1986.
95. Safta, V., - Admisibilitatea defectelor în construcţii sudate, Timişoara, 1980.
96. Safta, V., Gliţă, Gh., - Defectoscopia îmbinărilor sudate prin metode electromagnetice, "Oficiul de informare documentară pentru MICM"-SID-64, Bucureşti, 1986.
97. Sălăgean, Tr., - Fenomene fizice şi metalurgice la sudarea cu arcul electric, Editura Academiei Republicii Socialiste România, Buc. 1963.
98. Sălăgean, Tr., - Oţeluri pentru structuri sudate, Editura Facla Timişoara, 1974.
99. Sălăgean, Tr., - Statistica aplicată în cercetarea ştiinţifică, DDPT, 3-1973
100. Sălăgean, Tr., - Tehnologia procedeelor de sudare cu arc, Editura Tehnică, Bucureşti, 1985.
101. Sălăgean, Tr., - Tehnologia sudării metalelor cu arc electric, Editura Tehnică, Bucureşti, 1986.
102. Sălăgean, Tr., - Optimizarea proceselor de sudare, litografia Institutului Politehnic Timişoara, 1985.
103. Sălăgean, Tr., Gliţă, Gh., - Electro nituirea în mediu de gaz protector a tablelor din oţel de proxime până la 2 mm-Simpozion-Soluţii noi, eficiente în proiectarea şi execuţia structurilor, ICCPDC-Timişoara, 1986.
104. Sălăgean, Tr., - Consideraţii asupra formei curentului de sudură la sudarea electrică prin

- energie înmagazinată în câmp electrostatic, Academia Republicii Socialiste România, Baza Timișoara, Studii și cercetări științifice, Anul II (1955) Seria I. nr.1-4.
105. Sălăgean, Tr., - Determinarea parametrilor optimi pentru sudarea cu energie înmagazinată, Academia Republicii Socialiste România, Baza Timișoara Studii și Cercetări științifice, Tomul III (1956, nr.1-2).
106. Sălăgean, Tr., - Sudarea în capete a sîrmelor de cupru și aluminiu cu energie înmagazinată în câmp electrostatic.
107. Steklov, OI. - Osnovî svarounoga proizvodstva, Moskva, Vîsșiaia Școla, 1931.
108. Sarlău, C., - Proiectarea mașinilor, utilajelor și construcțiilor sudate vol.I, Litografia Institutului Politehnic, Timișoara, 1984.
109. Sarlău, C., - Proiectarea mașinilor, utilajelor și construcțiilor sudate, vol.II, Litografia Institutului Politehnic, Timișoara, 1986.
110. Sarlău, C., Gliță, Gh., Perța, Gh., - Proiectarea mașinilor, utilajelor și construcțiilor sudate, Indrumător de lucrări Litografia Institutului Politehnic Timișoara, 1982.
111. Sarlău, C., Gliță, Gh., ș.a. - Optimizarea parametrilor regimurilor de tăiere cu O_2 , Buletinul Științific și tehnic al Institutului Politehnic Timișoara, Fascicola " -1981, Tom 26(40)
112. Sarlău, C., Gliță, Gh., - Sudarea gravitațională pe verticală cu electrod învelit, Buletinul Științific și tehnic al Institutului Politehnic Timișoara, Fascicola 1-1981, Tom 26(40)
113. Sarlău, C., Gliță, Gh., ș.a. - Cercetări privind lungimea liberă a sîrmei electrod sau bandă la sudare, Buletinul Științific și tehnic al Institutului Politehnic timișoara, Fascicola 1-1981, Tom 25(39).

114. Schumann, H., - Metalurgie fizică, editura tehnică, 1962.
115. Shah, R., - Giant flashwelding machine, "Inon Age Metalwork International", 1966, 5 nr. h 38-39.
116. Tarasov, H.M., - Impulsnie contactnie maşini peremeriga toca dlea contactnoi svorki metalov ma- loi tolşcinî Automaticeskaia svarka, 1960, nr 127.
117. Todoran, I., - Tratatrea matematică a datelor experi- mentale, Editura Academiei Republicii Socialiste România, Bucureşti, 1972.
118. Truşculescu, N., - Studiul metalelor, Editura didactică şi pedagogică Bucureşti, 1976.
119. Ursache, M., ş.a., - Proprietăţile metalelor, Editura didac- tică şi pedagogică Bucureşti, 1982.
120. Ulucemenie., - Rosciat zariadnoi tepi Kondensatornîh maşin Avtomaticeskaia Svarka, nr 11, 1979
121. Zech, H., - Standardisirte Punktschweissmaschinen für die kondensatorimpulsschweissung "Metallverarbeitung", 1968, 22 nr. 3, Blek, 1967, 14 nr. 8, 339.301.
122. Vandreike, W., - Pary, I., Ermittlung der Standzeit von Elektroden werkstaffen für das Mider- stansschweissen "Schweisstechnik" DDR, 1968, 18 nr. 1, 17-20.
123. Vernok, c.w.I., - Microwelding development welding and Metal Fabrication, 1964, nr. 9, 326-344, Expresinformatia svarca, 1964, nr 46, ref. 237 (2E 275/65).
124. Wodara, I., Wehdler, H., - Schwerseen mit Kondensatorenladung Schweisstechnik" DDR, nr. 11, 1969, ref 5, 203-205.
125. x x x - Traducere din limba germană, Editura Tehnică, Bucureşti.
126. x x x - Sistema de echipamente pentru sudare şi tăiere din Republica Socialistă Româ- nia, 1974.
127. x x x - Catalog -Echipamente pentru sudare, tă- iere termică, lipire şi metalizare prin pulverizare, CES, 1980.

PROGRAM 1 BASIC - PRAE

```

10 REM PRŃG PENTRU DETERMINAREA VALORILOR CRITICE
20 REM A CAPACITATII ELECTRICE
30 READ R1,RT,L1,LT,M
40 DATA 0,031, 0.00014
50 DATA 0.2835, 0.000096, 0.00481
60 KA = R1 * LT + RT * L1
70 KB = L1 * LT - M 2
80 IF KB = 0 THEN 110
90 PRINT "L1 * LT-M 2 = 0"
100 GŃ TŃ 280
105 S = 0
110 FOR C = 0.0005 TŃ 0.06 STEP 0.0005
120 KC = LT + R1 * RT * C
130 KD = R1 * RT + LT/C
140 K1 = KA/KB
150 K2 = KC/(C * KB)
160 K3 = RT/(C * KB)
170 P = K2 - (K1 2)/3
180 Q = K3+2*(K1 3)/27-K1*K2/3
190 RL = (Q 2)/4+(P 3)/27
200 IF RL = 0 THEN 230
210 PRINT"(Q 2)/4+(P 3)/27 0"
220 GŃ TŃ 270
230 S=((KD-K1*KA/3) 3)/27+(((RT/C-K1*KD/3+2*KA*(K1 2)/27) 2)/4
240 IF E > 0.1 THEN 270
250 IF E < -0.1 THEN 270
255 S = S+E
260 PRINT "C= "
263 PRINT " "
265 PRINT " " "E= "; E
268 PRINT"
270 NBXT C
275 PRINT MD=5/125
280 STŃP
290 END

```

PROGRAM 2 BASIC - PRAE

```

10 REM PRØG/G2
20 REM CALCULUL CURENTULUI DE SUDARE I2
30 REM PENTRU MASINA DE SUDARE
40 REM PRIN PRESIUNE IN PUNCTE
50 REM CU ENERGIE IMMAGAZINATA
60 REM denumirea masinii
70 DIM C(25), U(25), T(25)
80 PRINT "  L1" : INPUT L1
90 PRINT "  LT" : INPUT LT
100 PRINT "  R1" : INPUT R1
110 PRINT "  RT" : INPUT RT
120 PRINT "  M" : INPUT M
130 PRINT "NR.VALØRI PENTRU CAPACITATEA"
140 PRINT "ELECTRICA - N1"
150 INPUT N1
160 PRINT "VALØRI PENTRU CAPACITATEA ELECTRICA"
170 FOR I = 1 TO N1
180 INPUT C(I) : NEXT I
190 PRINT "NR.VALØRI PENTRU TRANSIUNEA"
200 PRINT "UC(-O)-N2"
210 INPUT N2
220 PRINT "VALØRI PENTRU UC(-O)"
230 FOR J = 1 TO N2
240 INPUT U(J) : NEXT J
250 PRINT "NR.VALØRI PENTRU TEMPUL"
260 PRINT "DE SUDARE-N3"
270 INPUT N3
280 PRINT "VALØRI PENTRU TEMPUL DE SUDARE"
290 FOR K = 1 TO N3
300 INPUT T(K) : NEXT K
310 FOR I=1 TO N1
320 FOR J=1 TO N2
340 FOR K=1 TO N3
350 X1 = L1 * LT - M 2

```

```

360 U = RT/(X1 * C(I))
370 X2 = R1 * LT+RT * L1
380 A = X2/X1
390 X3 = LT+R1 * RT * C(I)
400 B = X3/(X1 * C(I))
410 Q = C+(A 3) * 2/27-A * B/3
420 P = X3/(C(I)* X1) - ((X2/X1) 2)/3
430 S1= -3 * Q/P
440 S2= (3/2) * (Q/P)
450 E1= S1 * T(I)
460 E2= S2 * T(K)
470 X4 = (M * U(J))/(L1 * LT)
480 X5 = S1 3 + ((S1 2) * X2)/(L1 * LT)+S1 * X3)/(C(I) * L1 * LT+
      RT/(C(I) * L1 * LT)
490 X6 = X4 * S2 * (S2-S1)-X4 * S2
500 E = 2.718282
510 I2 = X4 * S1 * (E E1)/X5+X6 * (E E2)/((S2-S1) 2)+
      X4 * S2 * T(K)+(E E2)/(S2-S1)
520 PRINT;"VALORILE CALCULATE PENTRU"
530 PRINT "CURENTUL DE SUDARE-I2"
540 PRINT I, J, K, I2
550 NEXT K
560 NEXT J
570 NEXT I
580 STOP
590 END

```


ANEXA III.

JOB A1310221,AN:SVLE,PN:03

COMPILE FORTRAN

```

DIMENSION A(20,20),R(20),X(20)
READ(105,1) N,ITER,EPS
1  FORMAT (12,4,F5.4)
   IF(1.LE.N.AND.N.LE.20) GO TO 2
   WRITE(108,3) N
3  FORMAT (T10,ERORARE DE INDICE N= ' ',12)
   STOP
2  READ(105,4) ((A(I,J),J=1,N),I=1,N),(R(I),I=1,N)
4  FORMAT(10F8.2/10F8.2)
   WRITE(108,6)
6  FORMAT(T10,'MATRICEA COEFICIENTILOR')
   DO 7 I=1,N
7  WRITE(108,8)(A(I,J),J=1,N)
8  FORMAT(//T10,20(F8.2,2X)//)
   WRITE(108,9)(R(I),I=1,N)
9  FORMAT(//T10,'CULOANA TERMEILOR LIBERI'//T10,20(F8.2,2X)//)
   DO 20 I=1,N
   X(I)=0
20  R(I)=-R(I)
   DO 10 N=1,ITER
   RMAX=ABS(R(1))
   K=1
   DO 11 I=1,N
   IF(RMAX-ABS(R(I)))12,11,11
12  RMAX=ABS(R(I))
   K=I
11  CONTINUE
   IF(RMAX-EPS)14,13,13
13  X(K)=X(K)+R(K)
   RR=R(K)
   DO 10 L=1,N
10  R(L)=R(L)+A(L,K)*RR
   M=ITER
14  WRITE(108,15) M,EPS,(X(I),I=1,N)
15  FORMAT(//T10,'SOLUTIALE SISTEMII OBTEINUTE DUELA ',14,'ITERATII
   *U ERORARE ',F5.4//T10,20(F8.4,2X))
   STOP
   ENO
   LINK
   RUN
   EØJ

```