

INSTITUTUL POLITEHNIC "TRAIAN VUIA"
TIMISOARA
FACULTATEA DE MECANICA

ing. VALERIU BOTEZATU

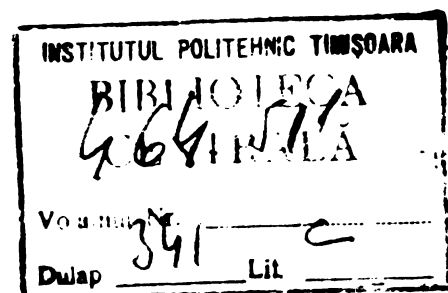
CERCETARI ASUPRA POSIBILITATII DE SINTEZA A UNOR
FORME DE UNDA MECANICE IN SCOPUL STABILIRII TEHNO-
LOGIEI OPTIME DE PRELUCRARE SI A IMBUNATATIRII
TEHNOLOGIILOR BAZATE PE ULTRASUNETE

- T e z a d e d o c t o r a t -

BIBLIOTECA CENTRALĂ
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"
TIMIȘOARA

Conducător științific
Prof.Em.Dr.ing. Gheorghe Savii

1983



C U P R I N SCERCETARI ASUPRA POSIBILITATII DE SINTEZA A UNOR FORME DE UNDA MECANICE IN SCOPUL STABILIRII TEHNOLOGIEI OPTIME DE PRELUCRARE SI A IMBUNATATIRII TEHNOLOGIILOR BAZATE PE ULTRASUNETE

1. INTRODUCERE.....pag. 4
2. PRODUCEREA ENERGIEI ULTRASONORE IN SCOPURI TEHNOLOGICE CU INSTALATII REALIZATE DIN DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE FUNCTIONAND IN REGIM DE COMUTATIE
.....pag. 7
 - 2.1. Structura generală a generatoarelor de ultrasunete pentru scopuri tehnologice sau de cercetare, echipate cu transductoare magnetostrictive lucrând în regim de comutație.....pag. 7
 - 2.2. Generalități despre posibilitatea de sinteză a unor forme de undă mecanice.....pag.10
3. CERCETARI ASUPRA OPTIMIZARII PROCESULUI DE OBTINERE A ENERGIEI ULTRASONORE IN SCOPURI TEHNOLOGICE PRIN EXCITAREA IN COMUTATIE SI CONTROLUL STABILITATII DE OSCILATIE A BLOCULUI ULTRASONIC.....pag.12
 - 3.1. Obiectivele optimizării.....pag.12
 - 3.2. Studiul blocului ultrasonic excitat în comutație.....pag.12
 - 3.2.1. Generalități despre magnetostricțiune.....pag.12
 - 3.2.2. Rezultatele experimentale obținute în studiul transductoarelor magnetostrictive produse în țară.....pag.15
 - 3.3. Interacțiunea excitator-bloc ultrasonic.....pag.21
 - 3.3.1. Generalități.....pag.21
 - 3.3.2. Moduri de excitare în comutație.....pag.27
 - 3.3.3. Studiu comparativ a modurilor de excitare.....pag.52
 - 3.4. Studiul etajelor finale pentru excitarea în comutație.....pag. 57

3.5.	Studiul generatoarelor de impulsuri pentru comanda etajului final al excitatorului.....	pag. 63
3.6.	Cercetări asupra posibilității de control a stării de oscilație a blocului ultrasonic excitat în comutație.....	pag. 70
3.6.1.	Extragerea unor semnale utile care caracterizează starea de oscilație a blocului ultrasonic.....	pag. 70
3.6.2.	Reglarea automată a frecvenței și reglarea automată a fazei.....	pag. 80
3.6.3.	Reglarea automată a puterii.....	pag. 91
3.7.	Recuperarea energiei de autoinducție din câmpul magnetic al blocului ultrasonic și utilizarea ei pentru excitarea transductorului.....	pag. 95
3.8.	Aplicarea practică a cercetării. Excitatoare realizate cu piese indigene.....	pag. 95
4.	<u>CERCETARI ASUPRA REALIZARII DE APARATURA PENTRU IDENTIFICAREA DINAMICA A UNOR PARAMETRII CARACTERISTICI AL BLOCURILOR ULTRASONICE IN SCOPUL IMBUNATATIRII PERFORMANTELOR ECHIPAMENTELOR TECHNOLOGICE SAU ACELA AL OPTIMIZARII UNOR TECHNOLOGII.....</u>	pag.100
4.1.	Cercetarea dinamică a blocului ultrasonic, parametrii cercetați, tipuri de semnale utilizate.....	pag.100
4.2.	Structura funcțională și constructivă a aparatului de identificare dinamică a blocurilor ultrasonice.....	pag.107
4.2.1.	Excitația.....	pag.108
4.2.2.	Generarea semnalelor pentru identificare.....	pag.110
4.2.3.	Extragerea și prelucrarea mărimilor utile.....	pag.112
4.2.4.	Marcatorul de frecvență.....	pag.113
4.3.	Aparatura pentru identificarea grafică a blocurilor ultrasonice realizată cu piese de producție indigenă.....	pag.116

4.4.	Aplicarea în cercetare și industrie a rezultatelor cercetării în domeniul identificării blocurilor ultrasonice.....	pag.117
4.4.1.	Aplicarea în cercetare.....	pag.118
4.4.2.	Aplicarea în industrie.....	pag.119
4.4.3.	Stabilirea tehnologiei optime de prelucrare sau îmbunătățirea performanțelor unor tehnologii.....	pag.120
4.5.	Aplicații practice ale utilizării aparaturii de identificare	pag.121
4.5.1.	Studiul unor blocuri ultrasonice formate din ferite magnetostrictive, fără mediu de propagare dirijată.....	pag.122
4.5.2.	Studiul modificării caracteristicii amplitudină-frecvență în funcție de schimbarea sarcinii mecanice.....	pag.123
4.5.3.	Sortarea și acordarea feritelor magnetostrictive.....	pag.124
4.5.4.	Sortarea și acordarea unor blocuri ultrasonice simple în scopul cuplării lor în paralel, la realizarea unor blocuri ultrasonice complexe.....	pag.127
4.5.5.	Analiza concentratoarelor.....	pag.128
4.5.6.	Acordul feritelor la frecvența de rezonanță a unui concentrator oarecare...pag.130	
4.5.7.	Acordul concentratoarelor la o anumită frecvență de rezonanță.....	pag.131
4.5.8.	Cercetări asupra diferitelor blocuri ultrasonice.....	pag.134
4.5.9.	Determinarea înălțimii lichidului în băile cu ultrasunete în scopul măririi eficienței procedurii de curățire.....	pag.136
5.	<u>CONCLUZII FINALE</u>	pag.141
6.	<u>ANEXA I</u>	pag.145
7.	<u>BIBLIOGRAFIE</u>	pag.148

1. I N T R O D U C E R E

Dezvoltarea fără precedent a științei și tehnicii a schimbat în mod radical posibilitățile omului de a acționa asupra mediului pentru a-l transforma și adapta trebuințelor sale. În acest context tehnologiile au evoluat prin perfecționarea unor forme devenite tradiționale și prin apariția altora diferite în mod esențial de acestea, contribuindu-se astfel la rezolvarea unor cerințe tot mai accentuate ale societății și anume: reducerea consumului energetic și de materii prime; obținerea și prelucrarea unor materiale noi cu calități fizico-chimice deosebite; creșterea productivității muncii; reducerea gradului de poluare a mediului exterior și altele.

Noile tehnologii, neconvenționale, s-au dezvoltat de regulă în țările cu potențial economic ridicat deoarece aplicarea lor presupune un grad înalt de tehnicitate și o pregătire superioară a specialiștilor care proiectează și exploatează utilajele respective. Luând în considerare rolul important pe care îl au în dezvoltarea social-economică, Congresul al XII-lea al P.C.R. a stabilit că în anii 80, deceniul științei, al calității și eficienței întregii activități, tehnologiile neconvenționale vor deține un rol primordial. În această categorie tehnologiile baza e pe utilizarea ultrasunetelor avînd o gamă foarte largă de aplicații, de la industria aeronautică la cea alimentară, dețin un rol important. Ultrasunetele pot fi utilizate fie ca purtătoare de informații în aplicații pasive, fie ca purtătoare de energii mari peste $0,1 \text{ W/cm}^2$ care interacționează activ cu materia, producînd transformări ale substanței în toate stările de agregare. Aplicațiile active ale ultrasunetelor se împart în două categorii și anume aceea de intensificare a ritmului de desfășurare a unor procese în tehnologiile convenționale și aceea în care ele joacă un rol activ, de sculă, prin interacțiunea specifică cu materialul supus prelucrării.

. / .

Rezultatele obținute în prelucrările cu ultrasunete, pe plan mondial și în țară au demonstrat marile avantaje ale utilizării lor, al reducerii consumului de energie, al creșterii productivității muncii, al prelucrării materialelor de înaltă rezistență mecanică și al creșterii calității produselor.

Utilizarea ultrasunetelor în tehnologie a început să aibă o răspândire însemnată. Inițial utilajele au fost aduse din import apoi datorită activității de asimilare și cercetare s-au realizat utilaje destinate prelucrării dimensionale, sudării masei plastice, curățirii etc., concepute într-o serie de institute de învățământ superior și cercetare din Timișoara, București, Iași.

Producerea, exploatarea și întreținerea utilajelor cu ultrasunete ridică probleme deosebite dintre care cele mai importante sînt:

- obținerea de materiale magneto sau electrostrictive cu calități superioare, în condiții avantajoase economic și realizarea din aceste materiale a unor transductoare cu performanțe corespunzătoare;

- obținerea de materiale cu proprietăți acustice mecanice și chimice atât pentru realizarea mediilor de propagare dirijată a ultrasunetelor cît și pentru construirea sculelor;

- realizarea de excitatoare - generator, într-o gamă variată de puteri, prevăzute cu posibilitatea de control a stării de oscilație a blocului ultrasonic;

- realizarea de aparatură specializată pentru identificarea parametrilor blocului ultrasonic pentru testarea unor tehnologii în scopul îmbunătățirii lor sau pentru stabilirea parametrilor optimi de prelucrare.

La toate acestea se cumulează lipsa din literatura de specialitate a informațiilor privind proiectarea și construirea unor ansambluri sau părți componente ale utilajelor.

Se conturează deja o tradiție în construirea de utilaj concretizată prin asimilarea în fabricație la I.C.E. București a materialelor și transductoarelor magnetostrictive, în construirea mai multor tipuri de generatoare la București și Timișoara. La "I.P. Timișoara" s-au realizat prototipuri și s-au omologat utilaje pentru prelucrări dimensionale, sudură, băi de spălare,

la "Electrotimiș" au intrat în fabricație unele utilaje preluate de la I.P. Timișoara și I.P. București. Desigur preocupările și realizările din acest domeniu în țara noastră sînt mult mai largi însă lipsa posibilității de informare sistematică împiedică să se cunoască adevăratele lor dimensiuni. Nu puține sînt utilajele din import care din lipsa pieselor de schimb livrate de firma constructoare la sume ridicate, sînt scoase total sau parțial din circuitul productiv. Rezolvarea producerii în țară a pieselor de schimb a reparării lor ar aduce importante economii de valută. Încercările de rezolvare sînt împiedicate de lipsa aparatului pentru testarea calității blocurilor ultrasonice sau a părților acestuia.

Pornind de la starea de fapt evidențiată mai sus autorul și-a propus ca pe parcursul cercetărilor să contribuie la rezolvarea practică a unor probleme de optimizare a obținerii energiei ultrasonore în scopuri tehnologice, la realizarea de aparatură specializată în testarea blocului ultrasonic și a unor tehnologii cu luarea în considerare a unor aspecte de ordin economic, în condițiile utilizării numai a materialelor și pieselor de proveniență indigenă.

x

x x

Autorul își exprimă și pe această cale adîncă recunoștință față de prof. em. dr. ing. Savii Gheorghe, conducătorul științific, care prin preocuparea față de cercetările sale, prin înțelegerea și ajutorul acordate în diferite etape ale realizării lor a îndrumat către finalizarea temei propuse.

Cu această ocazie autorul aduce mulțumiri dr. ing. Idănzan Tudor, pentru sfaturile primite și pentru discuțiile fructuoase desfășurate pe parcursul realizării cercetării.

2. PRODUCEREA ENERGIEI ULTRASONORE IN SCOPURI TEHNOLOGICE CU INSTALATII REALIZATE DIN DISPOZITIVE SEMICONDUCTOARE FUNCTIONIND IN REGIM DE COMUTATIE

2.1. Structura generală a generatoarelor de ultrasunete utilizate pentru scopuri tehnologice sau de cercetare echipate cu transductoare magnetostrictive.

Orice generator făcînd parte din această categorie se compune dintr-un bloc ultrasonic (BU) și un excitator. BU este destinat transformării energiei electromagnetice în energie ultrasonoră și dirijării ei către zona tehnologică. El este format din înfășurarea de excitație, transductorul magnetostrictiv (TM) și mediul de propagare dirijată (MPD). Fig. 2.1

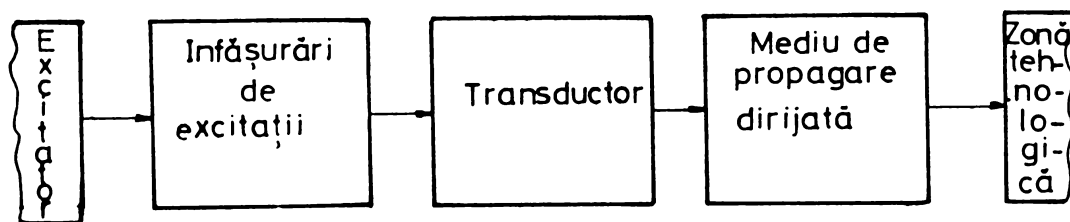


Fig. 2.1

TM este un dispozitiv care transformă energia magnetică transmisă de la excitator prin înfășurarea de excitație în energie de vibrație a acestuia. MPD asigură transferul energiei TM către zona tehnologică realizînd o mărire sau o micșorare a densității de energie - cazuri în care se numește concentrator, respectiv difuzor.

Structura generală a unui generator de ultrasunete precum și relațiile lui cu zona tehnologică, cu mediul înconjurător și cu operatorul sînt reprezentate în fig. 2.2

Excitatorul este destinat transformării energiei primare a sursei de alimentare în energie de excitație a TM și are în componența sa una sau mai multe linii energetice principale comandate de generatorul pilot prin intermediul unui comutator.

Generatorul pilot de impulsuri de excitație este destinat realizării unei mulțimi de impulsuri sincronizate între ele, cu parametrii variabili manual sau automat într-o anumită gamă de frecvențe, cu posibilități de sincronizare din exterior și de comandă prin tensiune, asigurînd și posibilitatea modulării în frecvență. Pentru fiecare tip de impuls există o ieșire separată care prin intermediul comutatorului poate fi conectată la oricare

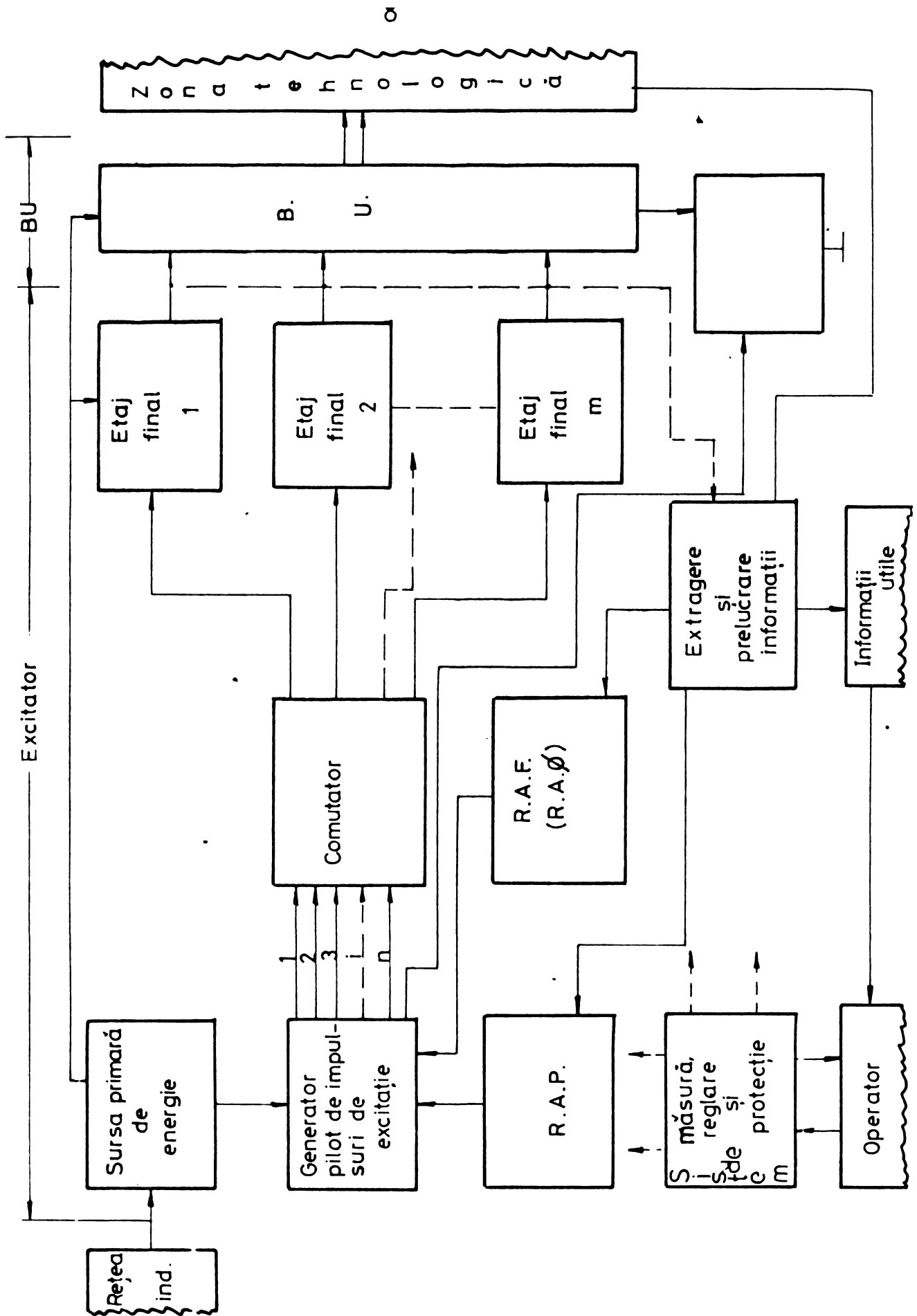


Fig. 2.2

din etajele finale.

Etajele finale sînt destinate excitării TM. Printr-un număr sporit de etaje se pot realiza excitări complexe, fiecărui etaj revenindu-i o înfășurare separată din BU. Etajele finale au posibilitatea cuplării în paralel în scopul măririi energiei de excitație.

Recuperatorul de energie inductivă are menirea de a reutiliza energia acumulată în cîmpul magnetic al TM care altfel s-ar pierde sub formă de căldură și ar crea supratensiuni pe etajele finale.

Sursa de energie primară poate fi formată din transformatoare, redresoare pentru diferite tensiuni cu posibilități de variație a puterii. Folosirea tiristoarelor pentru reglarea tensiunii crează posibilitatea reglării automate a puterii excitatorului prin intermediul sursei de alimentare a etajelor finale.

Sistemul de măsură, reglare și protecție se prezintă ca un bloc doar funcțional, elementele sale componente fiind conținute în toate blocurile instalației și este destinat menținerii în anumite limite a parametrilor tehnologici prin comandă manuală sau automată precum și protecției oamenilor și generatorului împotriva factorilor accidentali. Operatorul acționează asupra generatorului prin intermediul acestui sistem. O parte importantă a sistemului o constituie blocul pentru extragerea și prelucrarea informației privitoare la starea de oscilație a BU. Aceste informații se utilizează atât pentru buna funcționare a instalației și blocurilor componente cît și pentru scopuri de cercetare. În acest din urmă caz informațiile pot fi despre modificarea calității părților studiate la schimbarea unor parametri constructivi sau funcționali, oferind soluții pentru optimizarea procesului. În cadrul acestui sistem reglarea manuală sau automată a puterii și fazei (frecvenței) constituie modalitățile cele mai importante de asigurare a unui transfer energetic optim către BU.

În practică instalațiile cu ultrasunete conțin numai o parte din componentele de mai sus realizînd parțial sau simplificat funcțiile respective în conformitate cu obiectivele propuse. Această schemă generală a fost realizată constructiv avînd în compunere toate elementele dintre care patru linii energetice și

un generator pilot care generează 11 tipuri de semnale independente

2.2 Generalități despre posibilitatea de sinteză a unor forme de undă mecanice

Pentru obținerea oscilațiilor mecanice în domeniul ultrasonor folosind energia electromagnetică drept sursă primară s-au conturat două procedee mai importante bazate pe magneto și electrostricțiune. În mod obișnuit excitarea TM se face cu generatoare de tensiune de formă identică cu cea a undei generate. Problemele legate de acest mod de excitare sînt pe larg abordate în literatura de specialitate atît la nivel teoretic cît și practic. Realizarea instalațiilor tehnologice cu astfel de generatoare prezintă unele dezavantaje și anume:

1. Randamentul scăzut al generatoarelor sinusoidale. Acest mod de excitare presupune o utilizare nerațională a dispozitivelor electronice care compun generatoarele și a energiei primare. Pornind de la obiectivul realizării de utilaje cu piese de producție indigenă problema randamentului devine deosebit de importantă.

2. Fiabilitatea dispozitivelor electronice din etajul final este mai scăzută datorită parcurgerii caracteristicii de sarcină cu viteze relativ mici, deci cu puteri disipate relativ mari.

3. Adaptarea cu sarcina se realizează prin transformatoare de ieșire și eventual cu anumite scheme de compensare. Din același motiv gama de frecvențe în care poate lucra este restrînsă, schimbarea BU ridicînd probleme noi de adaptare.

4. Schemele de reglare automată a frecvenței și puterii ridică probleme constructive și de cele mai multe ori nu au o stabilitate satisfăcătoare în funcționare, necesită reglaje sau ajustări la schimbarea BU.

5. Tensiunea de răspuns a TM fiind de aceeași formă cu cea de excitație apar probleme deosebite la separarea ei pentru scopuri de cercetare ai parametrilor acesteia

6. Prețul de cost foarte ridicat.

Cercetările din lucrare sînt orientate în scopul eliminării sau reducerii acestor dezavantaje prin găsirea și aplicarea unor modalități de excitare care utilizează energii de excitație

mai simple și mai economic de generat. În acest context sinteză este definită ca obținerea în TM a unor oscilații cu sinusoidală, excitația fiind realizată cu forme mai simple de tensiune, de regulă dreptunghiulare, obținute cu dispozitive semiconductor lucrând în comutație.

Caracteristicile energiei de excitație trebuie corelate cu cele ale tipului de TM utilizat și cu parametrii oscilației dorite. Formele energiei de excitație pot fi diferite, condițiile esențiale fiind doar cele de sincronism și de fază cu oscilația TM.

3. CERCETARI ASUPRA OPTIMIZARII PROCESULUI DE OBTINERE A ENERGIEI ULTRASONORE IN SCOPURI TEHNOLOGICE PRIN EXCITAREA IN COMUTATIE SI CONTROLUL STARII DE OSCILATIE A BLOCULUI ULTRASONIC

3.1. Obiectivele optimizării

Optimizarea în general presupune atingerea mai multor dezi- derate, unele contradictorii, care în cazul instalațiilor de gene- rare a energiei ultrasonore presupun realizarea unei mulțimi de ca- lități și anume: randament energetic ridicat, fiabilitate cât mai bună, exploatare și întreținere cât mai ușoară, adaptabilitate la schimbarea BU sau a tehnologiilor, utilizarea numai a pieselor și materialelor indigene, preț de cost cât mai mic etc.

Atingerea tuturor acestor obiective este foarte dificilă, iar alegerea unora dintre ele ca fiind prioritare orientează centrul de greutate al optimizării. Indiferent însă de aceste opțiuni ran- damentul energetic, fiabilitatea și limitarea la posibilitățile economiei noastre de a produce instalații, reprezintă un factor co- mun al oricărei optimizări.

Folosirea etajelor finale în comutație constituie, alături de controlul automat al stării de oscilație a BU, procedee impor- tante în soluționarea cerințelor prezentate anterior.

3.2. Studiul blocului ultrasonic excitat în comutație

3.2.1 Generalități despre magnetostricțiune

Magnetostricțiunea este modificarea dimensiunilor unui corp fero sau ferimagnetic sub acțiunea unui câmp magnetic. Variația dimensiunii poate fi pozitivă sau negativă. În cazul când câmpul magnetic este alternativ variația dimensiunilor va fi alternativă, de aceeași frecvență, cu condiția existenței unui câmp magnetic de premagnetizare. O amplitudine mare a vibrațiilor se obține în situația în care frecvența câmpului excitant coincide cu frecven- ța de rezonanță. Gama de utilizare a TM este între 1 kHz și 200 kHz. [12], [18].

Un TM este caracterizat prin următorul sistem de ecuații:

$$\vec{F} = \mu \vec{H} + d_0 \vec{T}$$

$$\vec{S} = d_0 \vec{H} + s \vec{T}$$

/3.1/

unde

\vec{B} = inducția magnetică

\vec{H} = câmpul magnetic

\vec{S} = deformarea mecanică

\vec{T} = presiunea mecanică

μ = permeabilitatea magnetică

d_0 = constanta magnetostrictivă

s = rigiditatea mecanică.

Eficacitatea unui TM este exprimată prin coeficientul de cuplaj electromecanic k^2 definit ca raportul dintre energia mecanică produsă și energia magnetică totală furnizată sistemului departe de rezonanță. Din punct de vedere electric un TM poate fi prezentat în mai multe variante de scheme echivalente. Ele sînt doar o modelare aproximativă a comportamentului TM, în realitate "personalitatea" lui fiind mai complexă și dependentă de mai mulți factori legați atât de regimul de excitație cît și de sarcina mecanică.

În varianta din fig. 3.1 semnificația simbolurilor este:

R_1 = rezistența de pierderi electrice în afara rezonanței

L_1 = inductanța înfășurării de excitație în afara rezonanței

C_m = capacitatea de mișcare echivalentă elasticității

L_m = inductanța de mișcare echivalentă inerției mecanice

R_m = rezistența de mișcare de natură unei vîscozități.

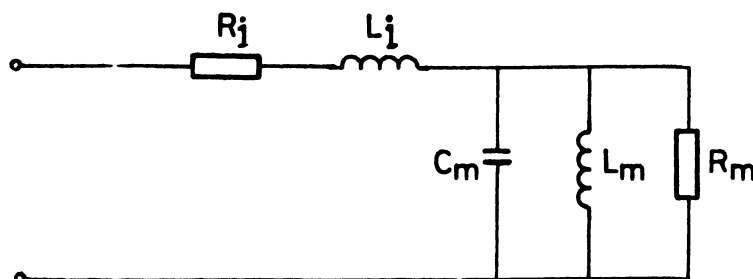


Fig. 3.1

Comportarea electrică a unui transductor la excitația cu un semnal variabil în frecvență este prezentată în fig. 3.2.

. / .

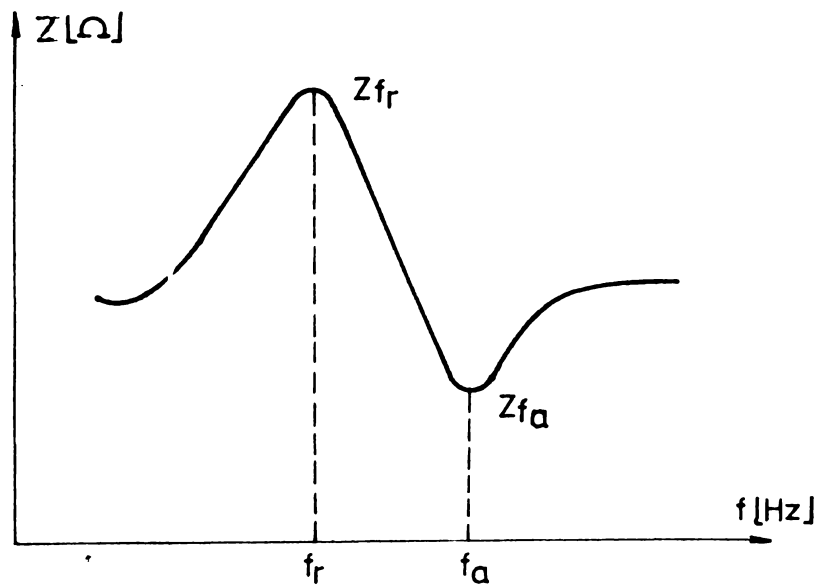


Fig. 3.2

Frecvența la care modulul impedanței este maxim este frecvența de rezonanță și este dată de expresia

$$f_r = \frac{1}{2\pi \sqrt{L_m C_m}} \quad (3.2)$$

iar cea la care este minim, frecvența de antirezonanță, are expresia

$$f_a = \frac{1}{2\pi \sqrt{C_m \frac{L_i + L_m}{L_i}}} \quad (3.3)$$

Prin calcule se demonstrează relația

$$k = \sqrt{\frac{2(p_a - p_r)}{p_r}} \quad (3.4)$$

iar raportul impedanțelor

$$\frac{|Z_{fr}|}{|Z_{fa}|} = (k^2 Q_m)^2 \quad (3.5)$$

produsul \$k^2 Q_m\$ fiind cifra de calitate piezomagnetică.

Randamentul electroacustic η_{ea} caracterizează eficacitatea unui TM lucrînd la rezonanță.

$$\eta_{ca} = \eta_{em} \cdot \eta_{ma} \quad /3.6/$$

unde

η_{em} = randamentul electromagnetic

η_{ma} = randamentul magnetoacustic

de obicei $\eta_{em} = 99\%$ iar $\eta_{ma} = 70 - 90\%$ în cazul unei adaptări corecte la sarcină optimă. [12] [17] [18] [58].

3.2.2 Rezultate experimentale obținute în studiul transductoarelor magnetostrictive produse în țară.

Studiul s-a efectuat pe TM de tip Π și 2 I fig. 3.3 ale căror date tehnice sînt redată în tabelul de mai jos. S-au utilizat și unele TM de formă toroidală sau de bară. [16]

Tip	F.rez. (kHz)	k%	Q_m	Putere maximă W/cm ²
2 I 20	20 \pm 0,5	13	300	4
Π 28	28 \pm 0,5	11	300	4
2 I 50	50 \pm 1	11	300	4

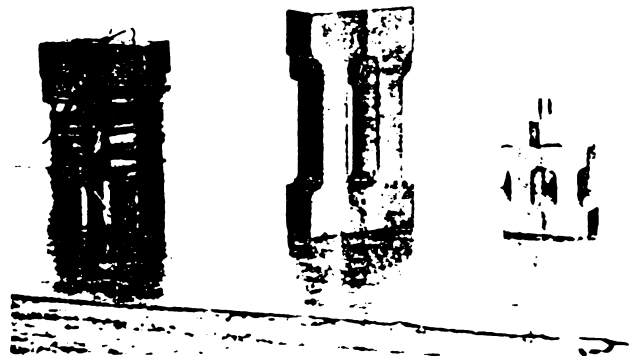
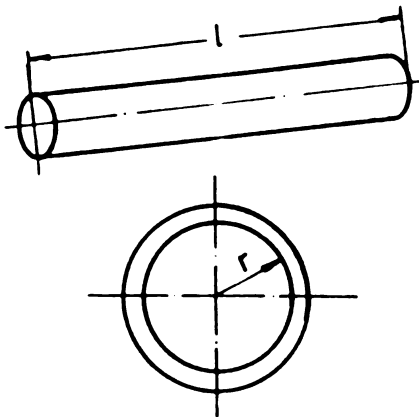


Fig. 3.3





Studiul a evidențiat unele aspecte neconsemnate în literatura de specialitate, cu implicații în proiectarea, construirea și exploatarea TM.

3.2.2.1 Influența formei geometrice și dimensiunilor asupra calităților transductorului magnetostrictiv

La excitarea unui TM cu o frecvență variabilă într-un anumit domeniu se constată următoarele:

- există mai multe moduri de rezonanță fundamentale între care nu există relații de multiplu sau submultiplu,
- pentru fiecare mod de rezonanță fundamental oscilația se realizează într-o bandă de frecvență numită zonă de rezonanță. [6].

În tabelul de mai jos se prezintă situația modurilor fundamentale de rezonanță pentru unele tipuri de TM

Tipul TM	Rezonanță de contur	Rezonanță longitudinală	Rezonanță transversală	Semnificația simbolurilor
Bară 	-	$f_L = k_L \cdot L$	-	L = lungime l = lățime
Tor 	$f_c = 2\pi k_c \cdot r$	-	-	r = rază k = constante
2 I 	$f_c = 2k_c \cdot (L+l)$	$f_L = k_L \cdot L$	$f_T = k_T \cdot l$	
π 	-	$f_L = k_L \cdot L$	$f_T = k_T \cdot l$	

Fiecare dimensiune geometrică în cazul unui TM de formă mai complicată poate condiționa, la anumiți parametri de excitație, o oscilație corelată cu valoarea ei care complică și mai mult posibilitățile de oscilație a TM.

Dacă energia de excitație ar avea un spectru suficient de larg ar putea excita toate modurile de rezonanță simultan. Din aceste constatări se pot trage următoarele concluzii importante pentru proiectarea TM.

1. Raporturile dintre frecvențele fundamentale sau dintre armonicele lor nu trebuie să fie un număr întreg. Nerespectarea acestei condiții are ca efect excitarea mai multor moduri de rezonanță scăzând randamentul și crescând riscul distrugerii TM. În mod practic aceste fenomene nedorite se înlătură prin evitarea unor raporturi între valorile dimensiunilor geometrice, raporturile stabilite pentru fiecare tip de TM în parte.

2. In cazul excitației nesinusoidale trebuie excluse din spectrul semnalului frecvențele care corespund unor moduri de rezonanță fundamentale diferite de cel excitat.

O preocupare aparte în cadrul cercetării a fost stabilirea cauzelor distrugerii prin spargere a feritelor produse în țară precum și pe acelea ale dispersiei mari a parametrilor feritei 2 I 20. Cauza în sine o constituie depășirea efortului unitar maxim admisibil la întindere. Apariția fisurilor nu a fost localizată niciodată la mijlocul feritei unde în mod teoretic se află efortul maxim, ci în zona de racord a maselor pasive (fig. 3.4 a). S-a constatat că feritele sparte nu prezintă simetrie constructivă datorită imperfecțiunii tehnologiei de asamblare a I-urilor și a aceleia de rectificare ulterioară a suprafețelor. Din cauza asimetriei maselor pasive unul din brațe oscilează mai amplu dând naștere la eforturi de încovoiere care se suprapun în zona respectivă cu cele de întindere depășind efortul unitar admisibil. Nu trebuie neglijat nici aportul neomogenității materialului la dezechilibrarea dinamică a feritei.

Si feritele II 28 se rup în zona de racord însă nu datorită imperfecțiunii geometrice ci datorită suprapunerii zonei de rezonanță transversală cu cea de rezonanță longitudinală dând naștere la oscilații simultane și suprapuse de încovoiere și întindere (fig. 3.4 b).

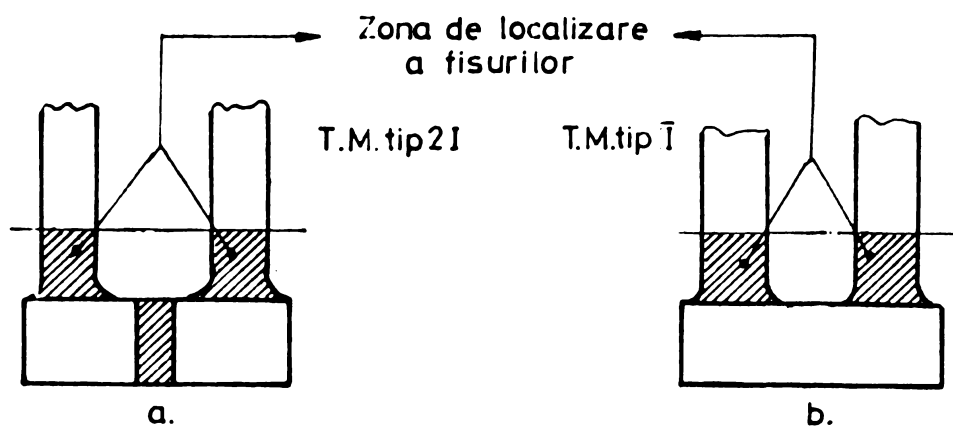


Fig. 3.4

Pentru îmbunătățirea calității acestor ferite este necesar, pentru primul caz înlăturarea deficiențelor tehnologice, pentru cel de-al doilea, reproiectarea dimensiunilor geometrice, iar pentru ambele cazuri îmbunătățirea omogenității.

3.2.2 Influența zonei de conexiune dintre transductorul magnetostrictiv și mediul de propagare dirijată

Zona de conexiune dintre TM și MPD prezintă o importanță deosebită pentru asigurarea unui randament ridicat și a unei fiabilități sporite. Zona de conexiune, pe lângă proprietățile mecanice și termice deosebite, trebuie să asigure o transmitere uniformă, simetrică a energiei și o separare magnetică între cele două medii, dacă materialul MPD este feromagnetic sau bun conducător de electricitate. La feritele de tip 2 I este necesar să se evite folosirea mediilor de propagare feromagnetice iar realizarea constructivă a zonei de conexiune să fie deosebit de îngrijită pentru a reduce câmpul magnetic dispersat. La realizarea BU cu mozaicuri de ferite este necesară selecționarea lor la parametri identici, selecționare realizabilă încă din fazele tehnologice finale cu ajutorul unei aparaturi specializate.

3.2.2.3 Influența premagnetizării

Aceasta constituie o condiție necesară a obținerii efectului magnetostrictiv, în special la frecvențe ridicate. Dacă se aplică un câmp magnetic alternativ de frecvență relativ joasă fără premagnetizare, variația dimensiunilor barei se produce cu dublul acesteia. La depășirea unei anumite valori în frecvență inducția magnetică nu mai poate urmări variațiile câmpului, iar variația dimensiunilor rămâne nulă. Prin premagnetizare se crează condițiile oscilației TM în jurul unei valori statice a lungimii. La limită în timpul experiențelor s-a utilizat efectul de premagnetizare al câmpului magnetic coercitiv al feritei. Magnetostricțiunea dinamică nu se poate realiza decât pe fondul unei anumite stări de magnetizație, câmpul magnetic alternativ ne mai producând o variație a inducției inițiale decât în anumite limite, energia lui fiind transmisă în mare parte oscilației maselor magnetizate. Coeficientul de cuplaj electroacustic variază puternic cu premagnetizarea. În fig. 3.5 este prezentată variația acestui parametru pentru trei compoziții de ferite. [58]

Câmpul magnetic de premagnetizare acționează și asupra frecvenței de rezonanță modificându-și valoarea prin modificarea dimensiunilor geometrice și a coeficientului de elasticitate.

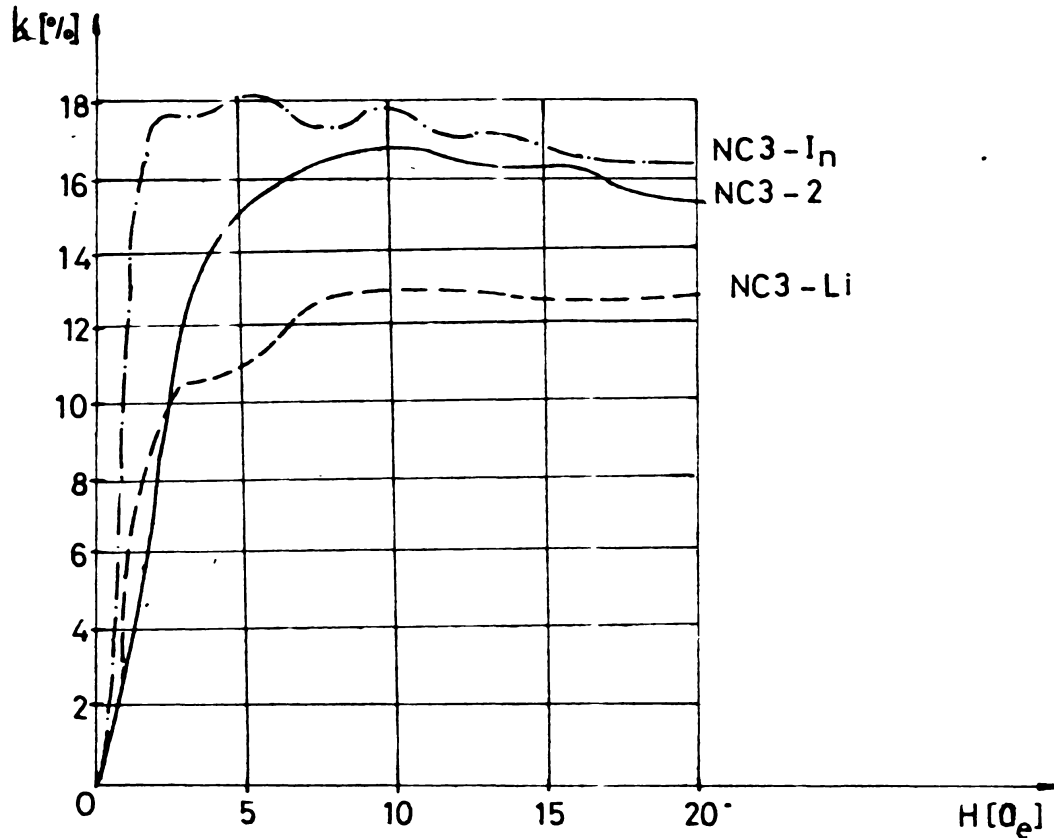


Fig. 3.5

La valori mari ale cîmpului magnetic alternativ apar modificări alternative în starea de magnetizație fapt care se concretizează prin asimetria coeficientului de cuplaj electroacustic, fiind naștere la diferențe notabile între amplitudinea oscilației la cele două excitații, în fază și antifază cu cîmpul static de premagnetizare, fiind de valoare mai mare în primul caz decît în cel de-al doilea. Este interesant de remarcat faptul că spargerea feritelor se produce pe seama energiei primite cînd cîmpul excitant este în fază cu premagnetizarea care are loc în momentul cînd acesta este în antifază, adică atunci cînd ferita se destinde. În acest sens s-a încercat, fără succes, spargerea feritei printr-un cîmp magnetic excitant în antifază.

3224 Influența bobinajului înfășurării de excitație

Pentru ca un bobinaj să fie corect el trebuie să îndeplinească următoarele condiții;

- pierderi electrice mici
- pierderi prin frecare cît mai mici
- stabilitate termică a izolației
- dimensiuni mici
- simplitate constructivă.

Un aspect important îl constituie poziția bobinei de excitație în raport cu zona tensiunilor interne maxime, fapt determinat experimental. Experiențele au constatat în deplasarea unei bobine de lungime mică în comparație cu lungimea feritei de la un capăt la celălalt al acesteia și măsurarea amplitudinii oscilației în condițiile menținerii constante a parametrilor electrici ai excitației. S-au efectuat și experiențe pentru evidențierea tensiunii obținute prin efect magnetostrictiv invers, rezultatele referitoare la poziția bobinei fiind aceleași și anume existența unui cuplaj maxim în zona "a" și a unui minim în zona "b" (fig. 3.7).

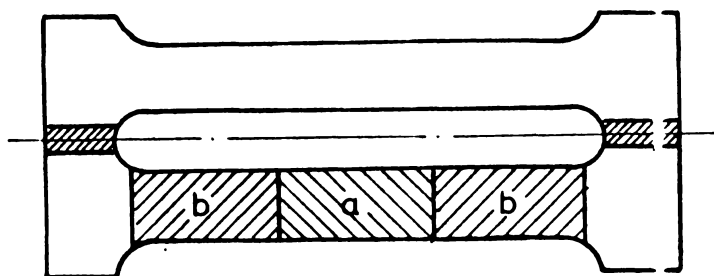


Fig. 3.7

Aceste fenomene se produc numai în cazul excitației dinamice, la excitația statică alungirea fiind aceeași, indiferent de poziția bobinei. Aceste fenomene oferă posibilitatea unor explicații mai complete asupra aspectelor intime ale magnetostrictivității dinamice. Numărul de spire al bobinei de excitație este factorul esențial de acord între impedanța electrică echivalentă a TM și cea a etajului final asigurându-se în acest fel un cuplaj optim.

Toate aceste rezultate experimentale, având ca finalitate îmbunătățirea calității TM produse în țară precum și obținerea unor performanțe energetice cât mai ridicate, au evidențiat existența unor rezerve importante neutilizate. Dintre acestea se detașează în mod deosebit;

1. Reproiectarea dimensională și găsirea de forme cu performanțe îmbunătățite care să asigure, în limitele unor tehnologii simplificate, omogenitatea și simetria TM.

2. Selecționarea corectă a TM cuplate în același BU, încă din fazele tehnologice finale.

3. Alegerea unui punct static de funcționare corespunzător printr-un câmp de premagnetizare corelat cu parametrii excitației dinamice.

4. Alegerea unor materiale adecvate pentru MPD.

5. Alegerea și poziționarea corectă a bobinajului.

6. Alegerea unei excitații corespunzătoare și menținerea ei în parametrii optimi prin controlul stării de excitație a BU.

3.3 Interacțiunea excitator - bloc ultrasonic

3.3.1 Generalități

Deoarece literatura de specialitate nu este bogată în referiri asupra excitării TM în comutație au fost realizate experiențe prin care s-au evidențiat unele aspecte esențiale ale interacțiunii dintre TM, aflat în stare de oscilație sau repaus, și excitator, lucrând cu diferiți parametri ai tensiunii de excitație. S-a urmărit modul cum are loc schimbul energetic între excitator și TM, care sînt condițiile ca acest transfer să fie optim. S-au folosit diferite forme și valori ale tensiunii de excitație, s-au măsurat parametrii acestora și s-au reliefat răspunsurile TM. Acestea au fost caracterizate prin forma și valorile tensiunilor și curenților de la bornele înfășurării de excitație. În acest fel s-au clarificat mai multe reguli și moduri de excitație.

Orice modificare a tensiunii la bornele înfășurării de excitație are drept urmare o variație de curent care la rîndul ei modifică starea de magnetizație respectiv de oscilație mecanică a TM și reciproc orice modificare a stării de oscilație a acestuia conduce la o modificare a tensiunii de la borne. Modalitatea cea mai avantajoasă de modificare a tensiunii este utilizarea impulsurilor dreptunghiulare de tensiune (fig. 3.8).

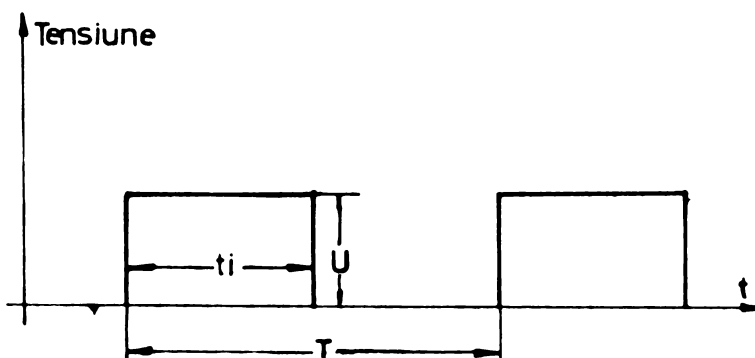


Fig. 3.8

unde t_i = durata impulsului de tensiune, T = perioada de repetiție, U = amplitudinea. O mărime importantă a trenului de impulsuri este factorul de umplere

$$\Delta T = \frac{t_i}{T} 100\% \quad /3.7/$$

Dacă în spectrul de frecvențe al impulsului de excitație se găsesc componente de valoare egală cu una din frecvențele de rezonanță mecanică sau cu multiplii sau submultiplii ai acesteia, are loc apariția unei oscilații mecanice. Exprimată matematic condiția este:

$$T_s = k T \quad /3.8/$$

unde T = perioada de repetiție a componentei din spectrul impulsului; k = număr întreg; T_s = perioada de rezonanță a TM.

O altă condiție evidențiată pe timpul experiențelor este

$$t_i = \max 70\% T \quad /3.9/$$

Oscilația mecanică se realizează într-un domeniu numit zonă de rezonanță, domeniu a cărui mărime depinde de factorul de calitate al BU și de parametrii excitației. Dacă nu este îndeplinită condiția /3.8/ atunci interacțiunea are aspectul acționării unei bobine de o anumită inductanță, tensiunea de la bornele ei are forma din figura 3.9, iar curentul forma din fig. 3.10. Dacă este îndeplinită această condiție atunci tensiunea are una din formele din fig. 3.11 sau altele care se vor evidenția ulterior iar curentul poate lua una din formele din fig. 3.12 sau din cele prezentate în anexa 1.

În timpul conducției variația curentului are diferite forme fiind de valoare 0 la începutul ei și avînd în afara rezonanței aspectul stabilirii curentului printr-o bobină simplă (fig. 3.10), iar în zona de rezonanță realizîndu-se și o modulare sinusoidală a acestuia fig. 3.12.

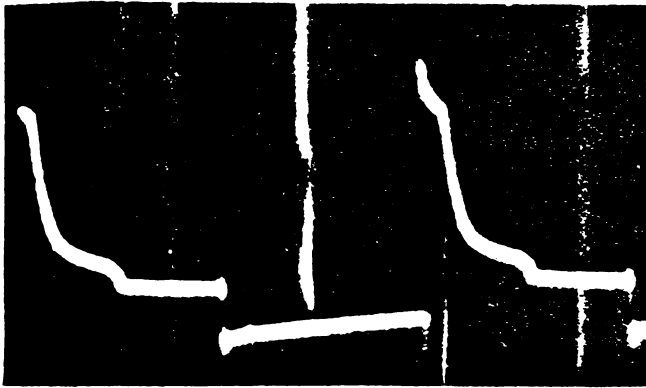
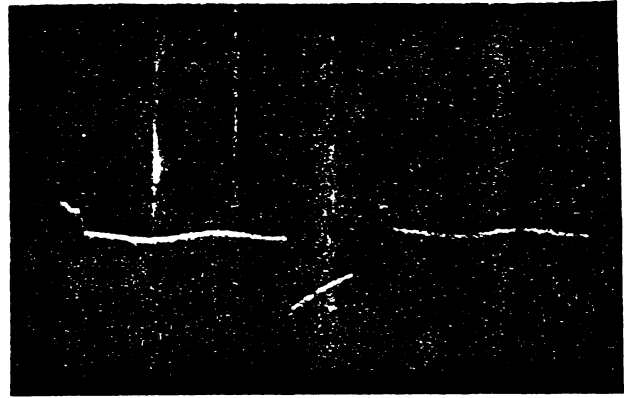
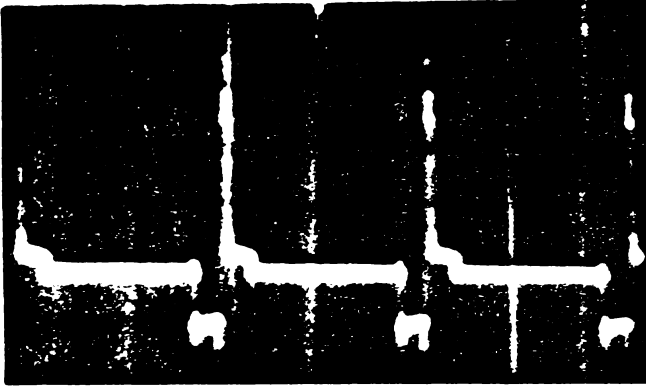


Fig. 3.9

Forma tensiunii la bornele bobinei TM pentru diferiți parametri ai impulsului de excitație în afara zonei de rezonanță.

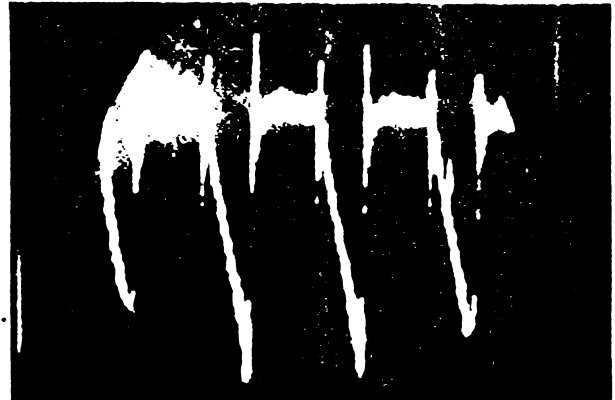
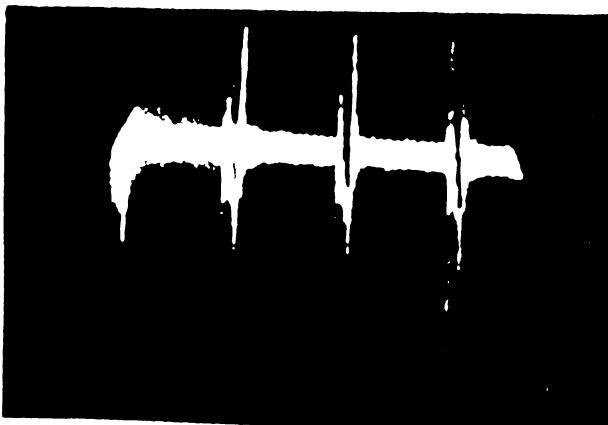


Fig. 3.10

Forma curentului din bobina TM pentru diferiți parametri ai impulsului de excitație în afara zonei de rezonanță.



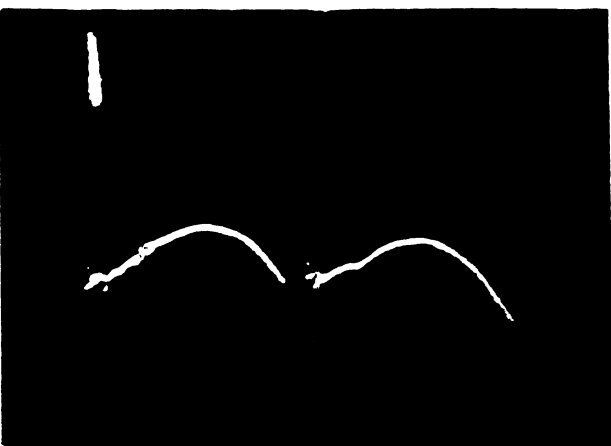
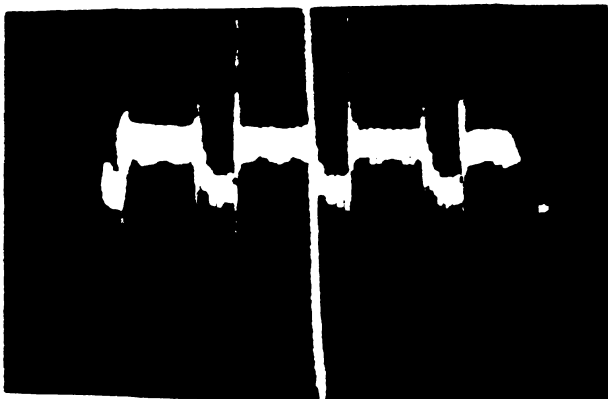
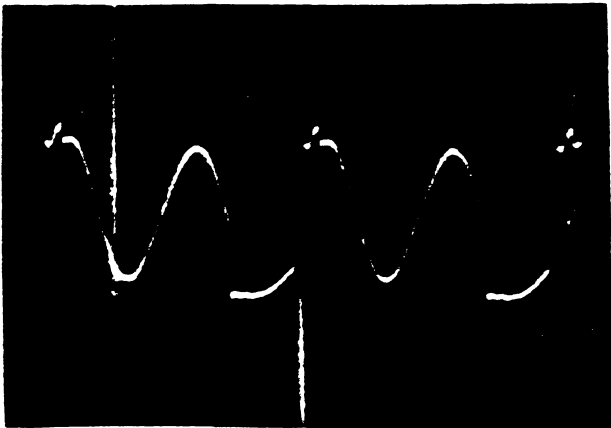
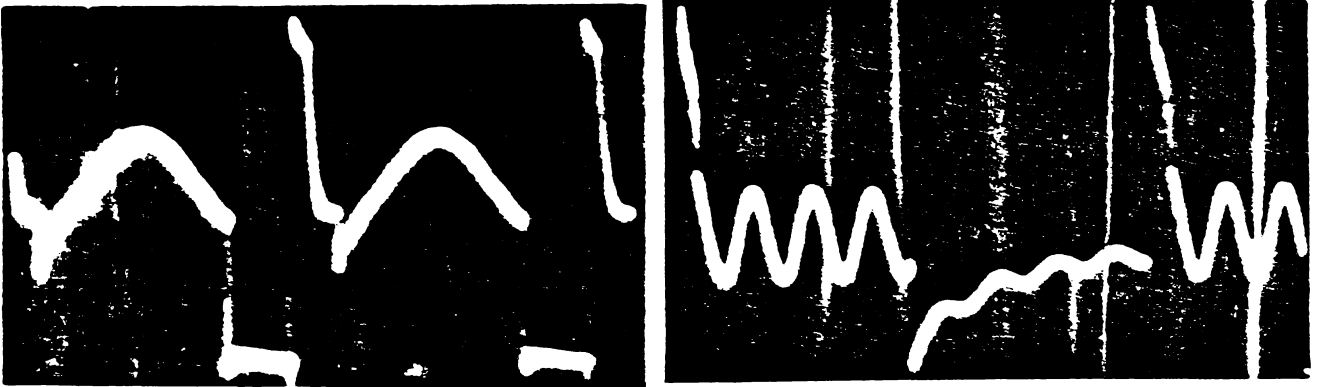


Fig. 3.11

Forma tensiunii la bornele bobinei TM la diferiți parametri ai impulsului de excitație în interiorul zonei de rezonanță.

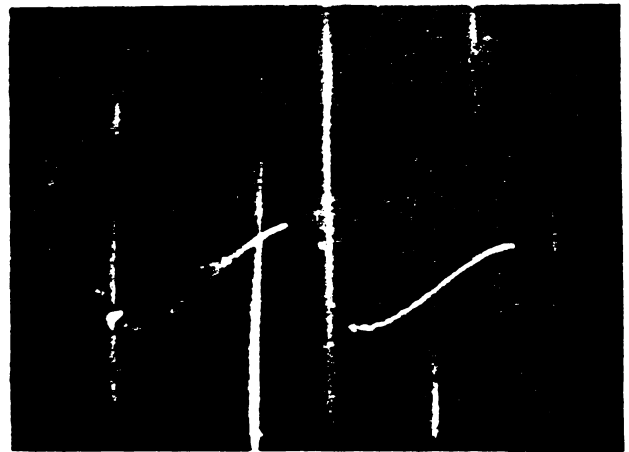


Fig. 3.12

Forma curentului prin bobina TM la diferiți parametri ai impulsului de excitație în interiorul zonei de rezonanță.

La ieșirea din conducție se realizează o întrerupere bruscă a curentului, fapt care duce la o variație a fluxului magnetic și implicit la apariția unei tensiuni de autoinducție fenomen evidențiat în toate fotografiile prezentate în acest capitol. În intervalul de timp cât prin bobină nu circulă curent, iar TM oscilează mecanic, la bornele ei apare o tensiune sinusoidală proporțională cu amplitudinea oscilației (fig. 3.11).

Din studiul relațiilor energetice dintre TM și esajul final al excitatorului au rezultat mai multe concluzii dintre care cele mai importante sînt expuse în cele ce urmează.

Interacțiunea dintre impulsul de tensiune și TM are o durată mai mare decît durata acestuia depinzînd atît de aceasta cît și de faza oscilației mecanice în care au loc comutările. Factorii esențiali ai transferului energetic către BU specific procedeele prin comutație sînt;

- corelarea momentelor intrării și ieșirii din conducție cu faza oscilației mecanice a TM - durata de blocare
- durata de conducție
- amplitudinea impulsului de tensiune și
- timpii de comutație.

Intrarea și ieșirea din conducție a bobinei TM trebuie făcută sincron cu starea de mișcare mecanică a TM, stare evidențiată prin mărimile electrice de la bornele acesteia care se manifestă în timpul conducției prin modularea curentului absorbit iar în afara ei prin modularea tensiunii. La intrarea în conducție valoarea instantanee a curentului depinde de trei factori și anume tensiunea de alimentare, valoarea inductanței și tensiunea contraelectromotoare obținută prin efect magnetostrictiv invers. În momentul ieșirii din conducție apar trei surse de tensiune care se însumează algebric și anume tensiunea de alimentare, tensiunea de autoinducție și tensiunea produsă prin efect magnetostrictiv invers. Primele două tensiuni au același sens pe cînd cea de a treia poate avea și sens opus în funcție de faza oscilației.

Intr-un ciclu de conducție-blocare au loc următoarele relații energetice :

$$W_{\text{tot}} = W_{\text{Cosc}} + W_{\text{mag}} + W_{\text{Cpierd}} \quad /3.10/$$

relație valabilă pentru conducție și

$$W_{\text{mag}} = W_{\text{Bosc}} + W_{\text{Bpierd}} \quad /3.11/$$

relație valabilă pentru blocare, unde:

W_{tot} = energia totală absorbită într-un ciclu de oscilație de la sursă,

$W_{\text{C osc}}$ = energia cedată oscilației mecanice în timpul conducției.

$W_{\text{C pierd}}$ = energia totală de pierderi pe timpul conducției,

W_{mag} = energia preluată de cîmpul magnetic al TM.

$W_{\text{B osc}}$ = energia cedată oscilației mecanice la intrare în blocare,

$W_{\text{B pierd}}$ = energia totală de pierderi pe timpul blocării (această energie este o parte din energia de autoinducție care se pierde sub formă de căldură pe elementul de comutație și pe circuitul de protecție).

Energia se preia de la sursă numai pe timpul conducției însă este transferată mișcării mecanice și pe timpul blocării.

Cîmpul magnetic creat de curentul de excitație poate fi de același sens sau de sens contrar cîmpului de premagnetizare și indiferent de aceasta el poate accelera sau frîna mișcarea de oscilație.

Folosirea excitației în comutație prezintă următoarele avantaje:

- randament ridicat
- puteri mari controlate pentru un dispozitiv semiconductor dat
- fiabilitate ridicată
- preț de cost redus.

Toate aceste avantaje constituie factori importanți ai

optimizării obținerii ultrasunetelor.

În concluzie se poate afirma că transferul energetic dintre etajul final al excitatorului și TM are un caracter complex, schimbul energetic fiind posibil în ambele sensuri atât în timpul conducției cât și în cel al blocării. Chiar și în cursul unei singure durate de conducție sau blocare poate exista cedare sau absorbție de energie după cum pe anumite intervale de timp schimbul energetic poate fi nul.

3.3.2 Moduri de excitare în comutație

Excitarea în comutație diferă de excitația sinusoidală prin caracterul ei discontinuu, prin diferența de formă excitație-răspuns și constă în conectarea-deconectarea controlată a unui generator de tensiune la înfășurarea de excitație a TM. Conectarea generatorului de tensiune este urmată de stabilirea unui curent care la rândul său crează un câmp magnetic prin intermediul căruia se modifică atât starea de magnetizație cât și cea de oscilație a TM. În funcție de polaritatea tensiunii în momentul conectării câmpul magnetic indus poate avea același sens sau sens diferit față de câmpul de premagnetizare. Pornind de la această constatare, atât din considerente teoretice cât și experimental, s-au diferențiat 2 moduri fundamentale de excitare și anume cel asimetric și cel simetric.

Modul asimetric este acela în care câmpul magnetic excitant are un singur sens, același sau opus cu câmpul de magnetizare. În primul caz modul asimetric este de tip direct iar în cel de-al doilea este de tip invers. În fig. 3.13 a este prezentată schema electrică a excitației asimetrice.

Modul simetric este acela în care câmpul magnetic excitant este alternativ, fiind de fapt o reunire a celor două moduri de excitare asimetric direct și invers. În fig. 3.13. b este prezentată schema electrică a excitației simetrice. În toate cazurile studiate premagnetizarea este realizată prin magneți permanenți încorporați în structura TM.

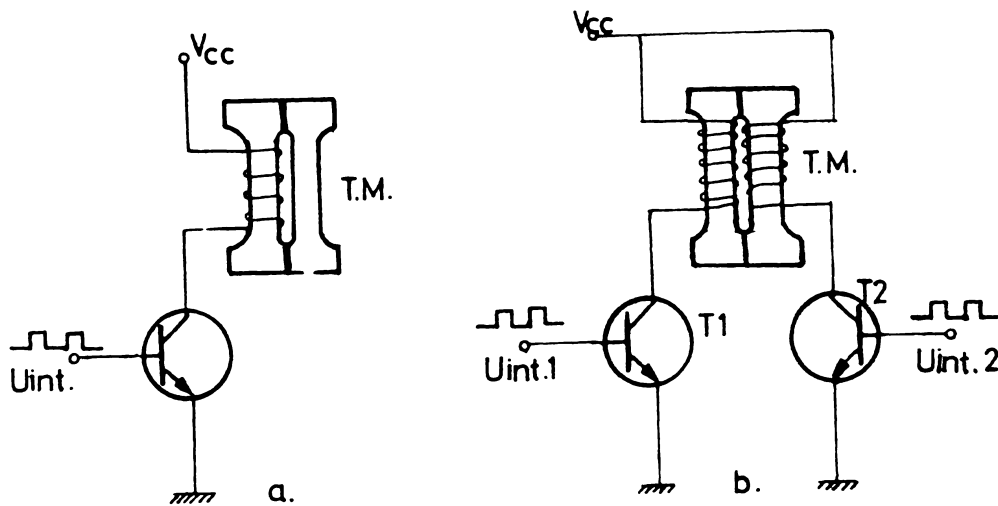


Fig. 3 .13

Cu ajutorul instalației și aparaturii prezentate în figura 3.14 s-au realizat experimentările și măsurările ale căror rezultate finale au condus la stabilirea condițiilor și regulilor necesare pentru optimizarea obținerii energiei ultrasonor: prin modurile simetric și asimetric de excitație.

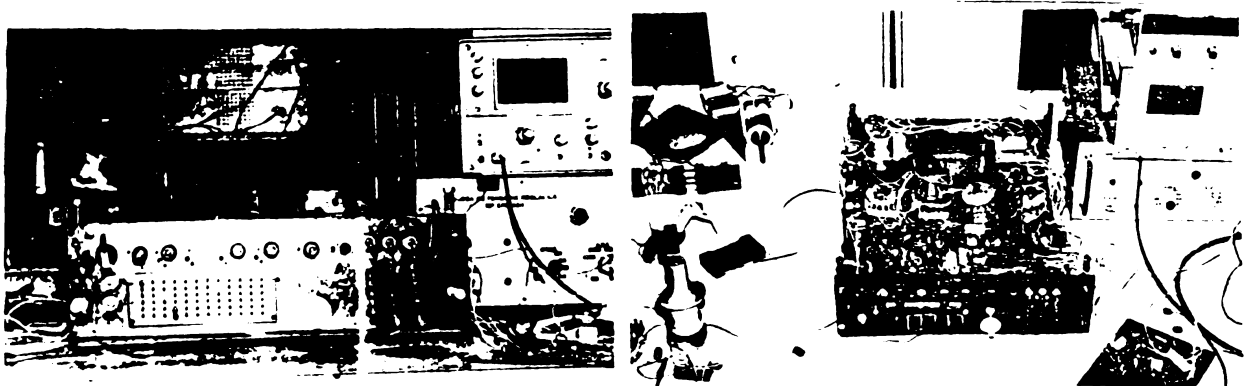


Fig. 3.14

Excitarea s-a făcut cu un excitator cu o schemă complexă care va fi prezentat în subcapitolul 3.3. Excitatorul este alimentat cu o sursă de tensiune stabilizată^{fapt} care a permis măsurarea cu precizie a puterii medii cedate etajului final respectiv înfășurării de excitație. Frecvența a fost măsurată cu un frecvențmetru cifric, iar diversele mărimi de ieșire au fost vizualizate și măsurate cu ajutorul osciloscopului și aparatului de fotografiat. Astfel s-au făcut măsurători asupra amplitudinii, fazei și duratei excitației și răspunsului.

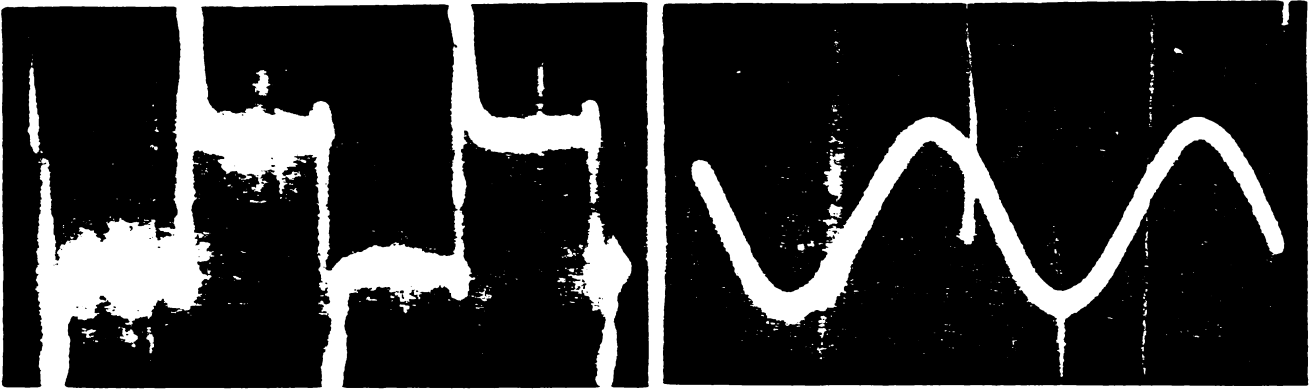


Fig. 3.15 Mod de excitare simetric.

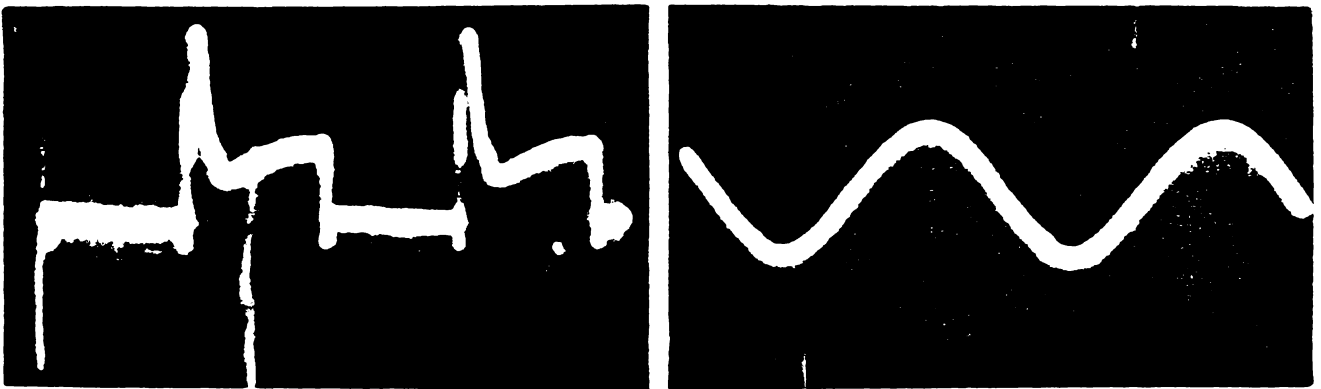


Fig. 3.16 Mod de excitare asimetric direct.

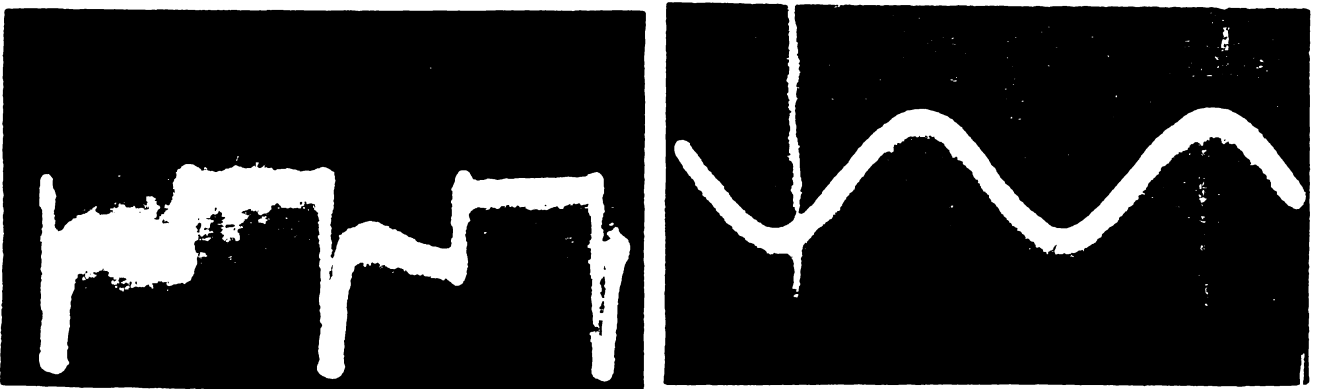


Fig. 3.17 Mod de excitare asimetric invers.

În figurile 3.15, 3.16, 3.17 și în anexa 1 sînt prezentate comparativ tensiunile la bornele de excitație și formele oscilațiilor mecanice a TM pentru modurile fundamentale de excitație în comutație.

Fenomenul oscilației are loc într-o zonă de rezonanță (fig. 3.18).

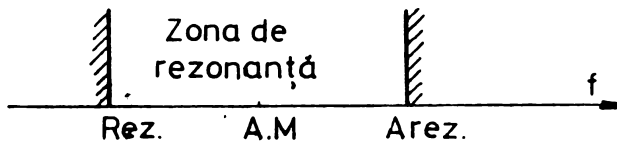


Fig. 3.18

Majoritatea fenomenelor transferului energetic sînt comune tuturor modurilor. Cercetările s-au efectuat cu diferite tipuri de TM în interiorul zonei de rezonanță urmărindu-se găsirea regulilor unei excitări corecte.

Obiectivele studiului au fost;

- variația amplitudinii oscilației
- variația puterii consumate
- variația randamentului,

în funcție de

- poziția intervalului de conducție în raport cu faza oscilației
- durata conducției și a blocării
- amplitudinea impulsului de tensiune,

în scopul optimizării obținerii oscilațiilor și pentru creșterea fiabilității generatoarelor.

Pentru caracterizarea fenomenelor de transfer s-a stabilit ca reper faza inițială a oscilației și anume maximum pozitiv al acesteia și o unitate de măsură a fazei potrivită excitării în comutație exprimată în procente din perioada de oscilație (fig. 3.19) Cu această convenție oscilația este exprimată printr-o funcție cosinus.

Valoarea fazei în grade sexazegimale se obține cu relația

$$\varphi^{\circ} = \arccos\left(\frac{\varphi}{\pi}\right)^{\circ}$$

4.12/

. / .

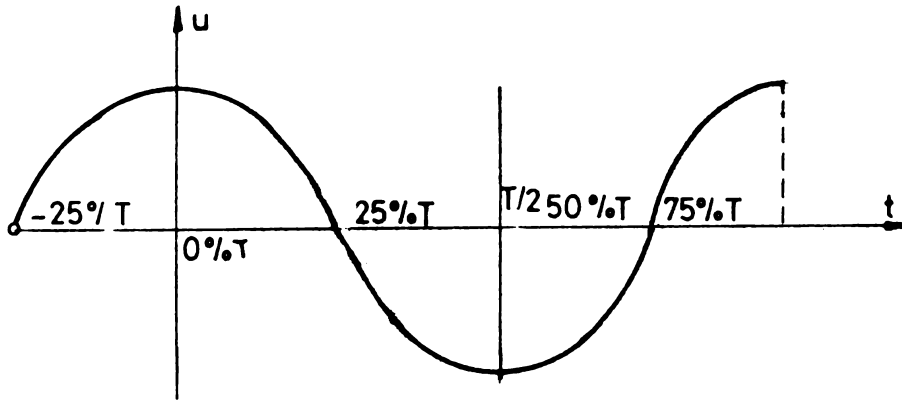


Fig. 3.19

Acest mod de a exprima faza oscilației este cel mai potrivit pentru excitația în comutație deoarece se stabilește o unitate de măsură comună cu cea pentru factorul de umplere al impulsurilor de excitație și anume $\%T$.

Alte repere importante pentru fază și frecvență, ușor de evidențiat experimental chiar și fără o aparatură de vizualizare, sînt trei puncte ale zonei de rezonanță definite cu condiția alimentării excitatorului cu o tensiune constantă. Stabilirea poziției lor este independentă de modul de excitație. Acestea sînt;

- rezonanța (Rez) este punctul din zona de rezonanță unde curentul absorbit este minim

- amplitudinea maximă (AM) este punctul din zona de rezonanță în care amplitudinea oscilației TM este maximă

- antirezonanța (ARez) este punctul din zona de rezonanță unde curentul absorbit este maxim.

Aceste puncte stabilesc următoarele relații în domeniile frecvenței și cel al fazei

$$f_{\text{Rez}} < f_{\text{A.M}} < f_{\text{ARez}} \quad /3.13/$$

și

$$\varphi_{\text{Rez}} > \varphi_{\text{A.M}} > \varphi_{\text{ARez}} \quad /3.14/$$

În parcursul lucrării referirile la faza excitației în raport cu oscilația se fac fie pentru începutul excita-

. / .

ție - intrarea în conducție - fie pentru sfârșit - ieșirea din conducție - fie pentru mijlocul impulsului de conducție conform figurii 3.20

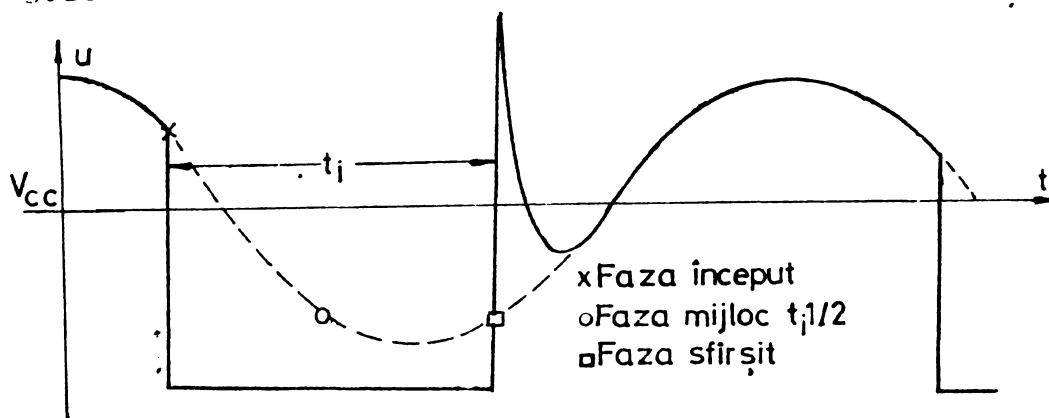


Fig. 3.20

În cercetările făcute s-au efectuat măsurări ale mai multor mărimi caracteristice luându-se pentru fiecare caz ca unitate de măsură valoarea maximă a mărimii respective. Astfel acestea sînt exprimate în valori relative conform relației 3.15

$$M_{rel} = \frac{M_a}{M_{max}} \cdot 100\% \quad (3.15)$$

unde M_{rel} = mărime relativă, M_a = mărime absolută, M_{max} = mărime absolută maximă. Utilizarea mărimilor relative este suficientă pentru caracterizarea relațiilor de optim. Acest procedeu de măsurare suplinește lipsa unei aparturi specializate de înaltă precizie pentru măsurarea valorilor absolute și a unor traducătoare speciale, fără însă a diminua calitatea rezultatelor obținute în stabilirea variațiilor relative ale unor mărimi în funcție de variația mărimilor de care depind.

Pentru atingerea obiectivelor prezentate la începutul subcapitolului s-a desfășurat un ciclu de experiențe cu instalația din fig. 3.14 din care se prezintă cele mai semnificative.

1. Studiul variației amplitudinii oscilației mecanice, puterii consumate și randamentului în funcție de durata de conducție a impulsului de excitație cu menținerea constantă a fazei de intrare în conducție.

Mărimile care intervin au fost măsurate astfel: amplitudinea, puterea absorbită și randamentul în valori relative conform relației /3.15/, durata conducției și faza în procente din perioada de repetiție, iar frecvența în kHz. Pentru amplitudine ca expresie a puterii utile prin relația /3.16/, măsurările s-au făcut direct pe ecranul osciloscopului unde s-au vizualizat tensiunile de la bornele înfățurării de excitație.

Aceste tensiuni prin forma lor sînt o expresie atît a excitației în timpul conducției cît și a oscilației BU în timpul blocării. In acest mod formele de undă din experiențele desfășurate cu modul asimetric de excitație ne dau informații concrete asupra duratei și fazei impulsului de excitație precum și asupra amplitudinii și formei oscilației.

Măsurarea puterii medii consumate a fost posibilă prin faptul că etajul final a fost alimentat separat de la o sursă de tensiune constantă, valoarea ei fiind proporțională cu valoarea curentului absorbit. Folosirea mărimilor relative au avantajul eliminării tuturor constantelor de transformare. Pe parcursul experiențelor s-au evidențiat și variațiile frecvenței de oscilație respectiv modificările care intervin asupra zonei de rezonanță.

In tabelele și graficele rezultate din experiențele efectuate, prezentate în acest capitol s-au folosit următoarele prescurtări:

$A_{rel.}$ = amplitudinea relativă a oscilației corespunzătoare puterii utile medii relative cu respectarea condiției /3.16/

$P_{rel.}$ = puterea medie relativă consumată.

$\eta_{rel.}$ = randamentul relativ.

Aceste măsuri relative au fost efectuate pentru fiecare experiment în parte.

ϕ = faza dintre excitație și oscilație notată cu indice "i" pentru începutul, cu "m" pentru mijlocul și cu "s" pentru sfîrșitul impulsului de excitație. / %T /

T = perioada de oscilație.

t_1 = durata relativă a impulsului de excitație / %T /

F = frecvența de rezonanță. /Hz/

a) Mod asimetric de excitare reprezentat în fig.

3.21 a - c. Faza de început a excitației este de 16,4%, iar durata impulsului variază între 41 % și 61 % T.

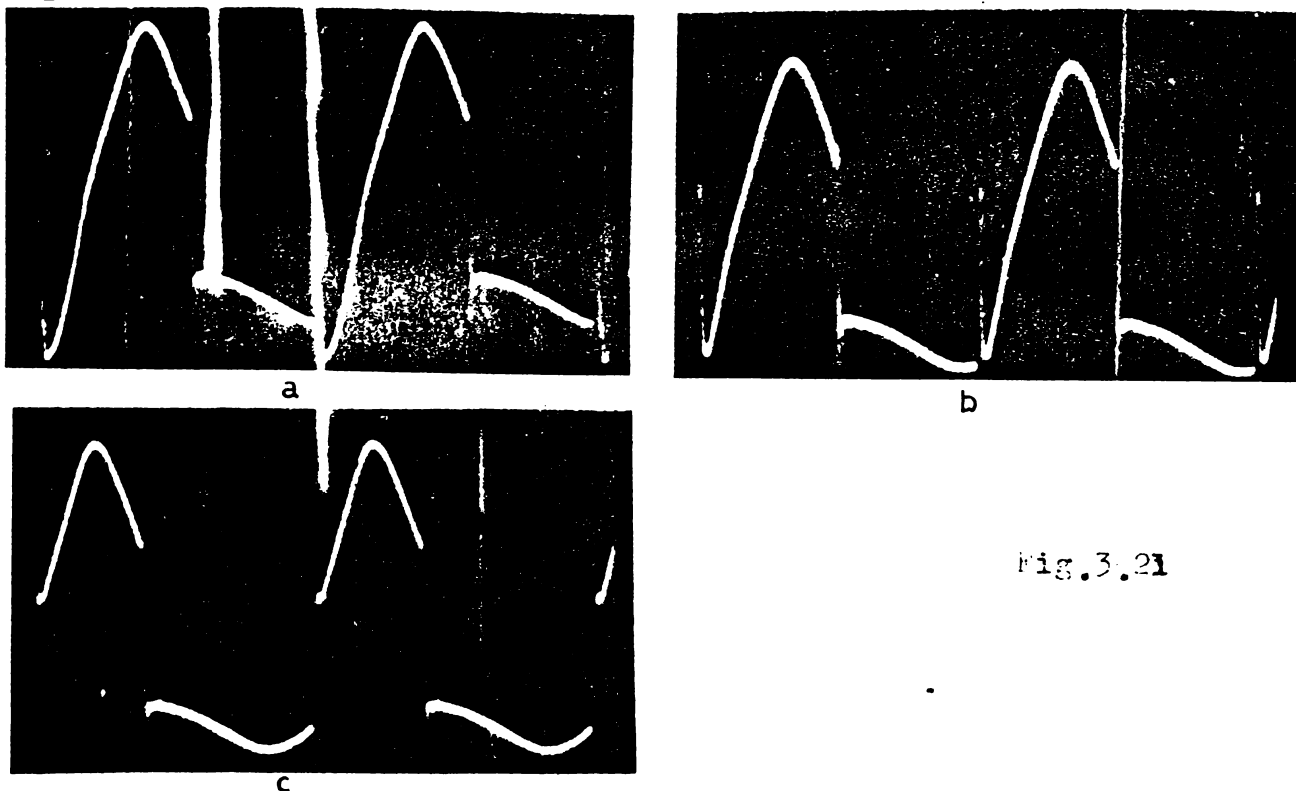


Fig.3.21

Rezultatele experimentului sînt prezentate în tabelul

3.1 și în fig. 3.22.
Tabelul 3.1

Fig.	θ_s	A rel.	P. rel.	η rel.	t_i	F
3.21 a	57	100	90	100	41	20503
3.21 b	67	91	96	91	51	20519
3.21 c	78	91	100	91	61	20508

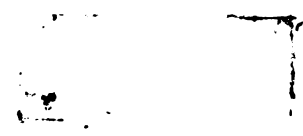
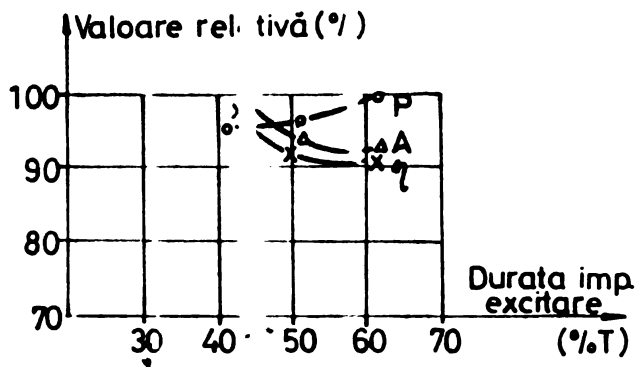


Fig.3.22

Legenda:
 Δ - A - Amplitudinea oscilației
 ○ - P - Putere consumată
 × - η - Randament

b) Mod de excitare asimetric fig.3.23 a - d.

Faza de început a excitației este de 21 % iar durata impulsului între 31 % și 57 % T.

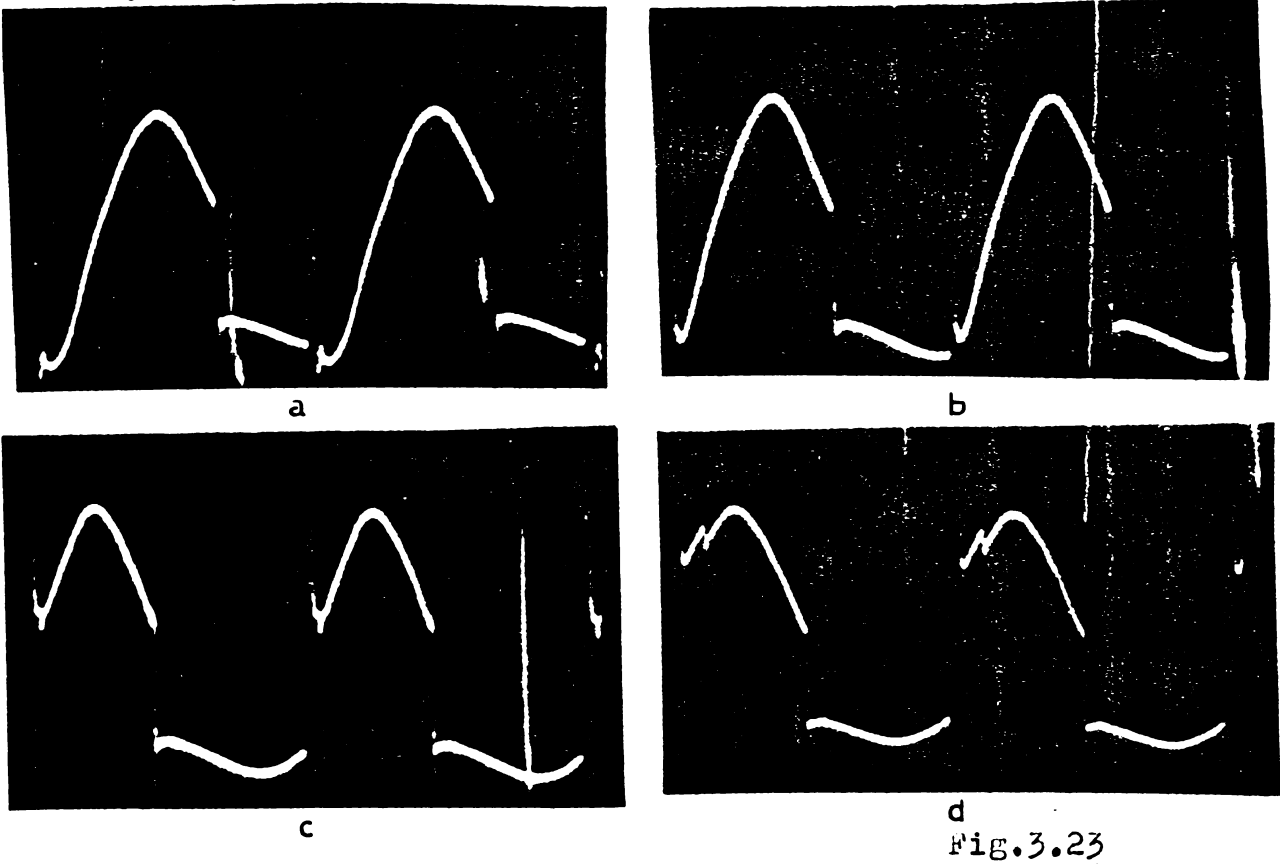


Fig.3.23

Rezultatele experimentării sînt prezentate în tabelul 3.2 și fig.

3.24

Tabelul 3.2

Nr. Fig.	ρ_s	A. rel.	P. rel.	η rel.	t_i	F.
3.23 a	51	92	67	100	31	20060
3.23 b	57	98	72	99	36	20531
3.23 c	71	100	81	89	51	20502
3.23 d	78	100	100	73	57	20487

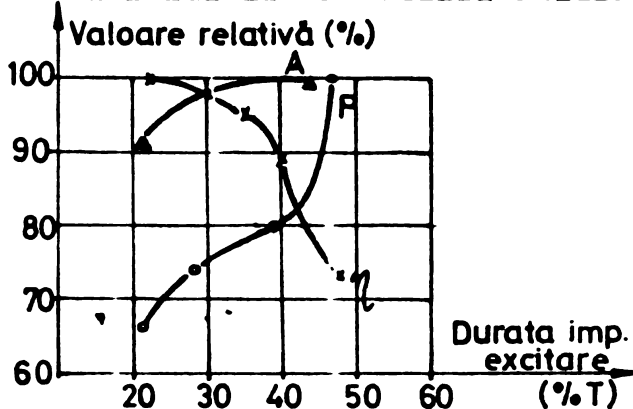


Fig.3.24

c) Mod de excitare asimetric fig.3.25 a-d

Faza de început a excitației este de 25 % iar durata impulsului de excitație între 21 % - 57 % F .

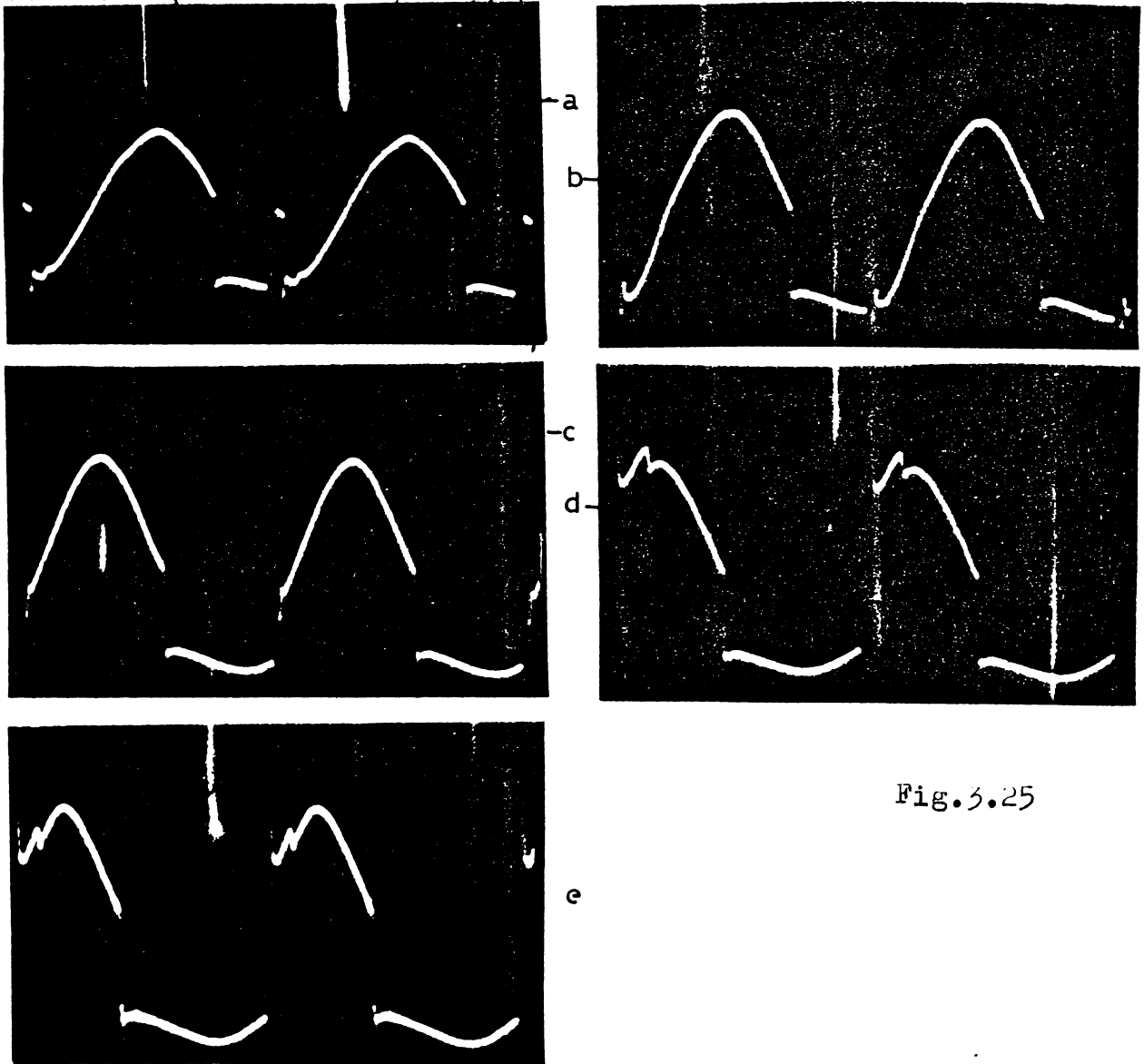


Fig.3.25

Rezultatele experimentului sînt prezentate în tabelul 3.3 și fig. 3.26.

Tabelul 3.3

Nr. Fig.	θ_s	α rel.	β rel.	γ rel.	t_i	F
3.25 a	45	70	44	100	21	20597
3.25 b	55	90	66	85	31	20554
3.25 c	66	100	66	94	41	20525
3.25 d	75	100	88	71	51	20482
3.25 e	82	97	100	61	57	20462

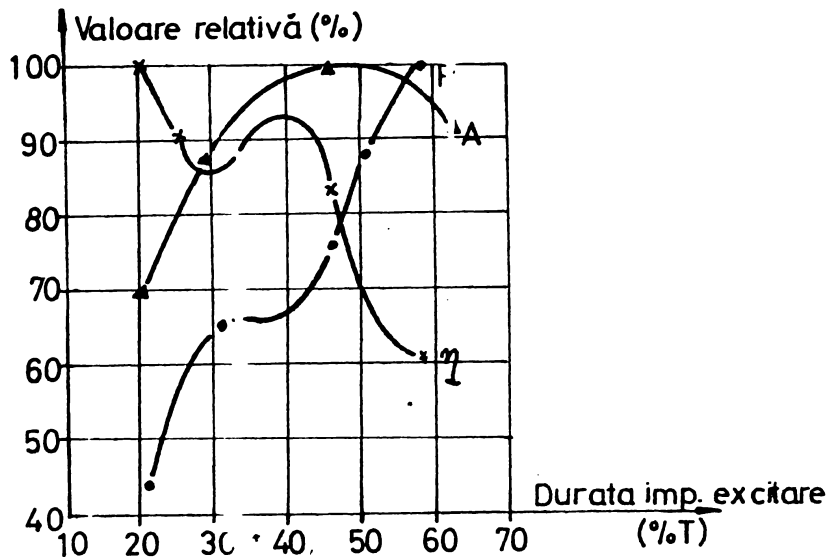
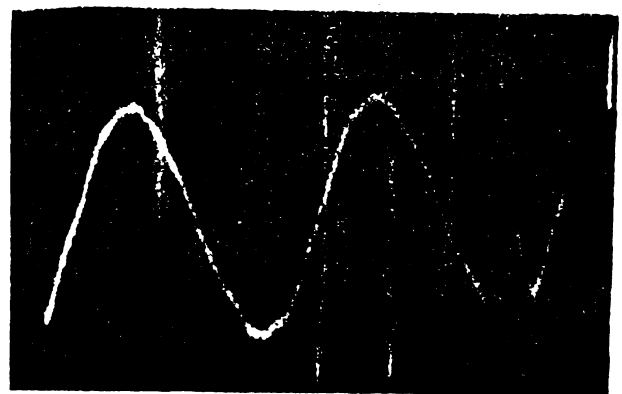
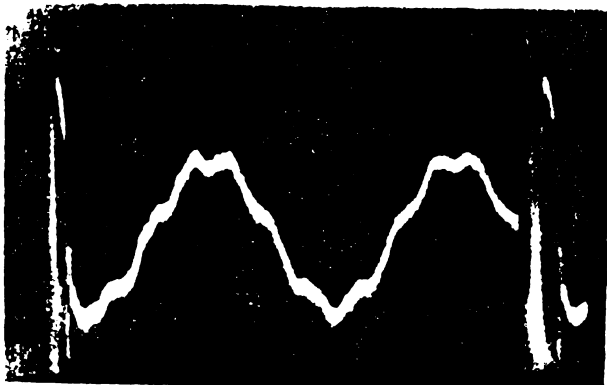


Fig. 3.26

2. Studiul variației amplitudinii oscilației, puterii consumate și randamentului în funcție de faza impulsului de excitație cu menținerea constantă a duratei acestuia. Experiențele și măsurările s-au desfășurat în condițiile prezentate la punctul anterior. Excitarea s-a făcut cu impulsuri a căror frecvență de repetiție este de două ori mai mică decât cea de oscilație a T.M. în scopul evidențierii mai clare a răspunsului.

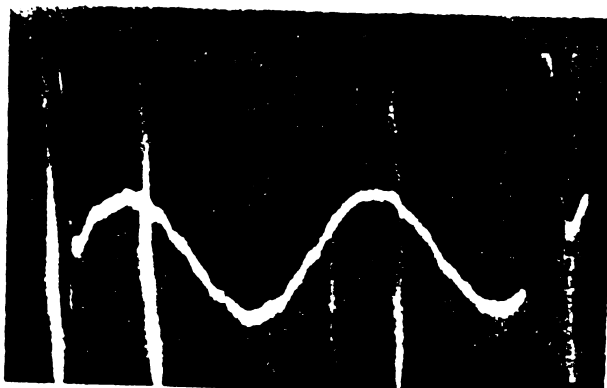
a) Mod de excitație asimetric. $T_r = 48,49 \mu s$.

$t_i = 8 \% T$ fig. 3. 26 a - c - 1



a

b



c

Fig. 3.26-1

Rezultatele sînt prezentate în tabelul 3.4 și fig. 3.27

Tabelul 3.4

Nr. fig.	\varnothing_i	\varnothing_s	A.rel.	P.rel.	η rel.	F.
3.26 a	60	63	50	100	48	20562
3.26 b	41	50	100	86	100	20624
3.26 c	24	32	50	100	48	20668

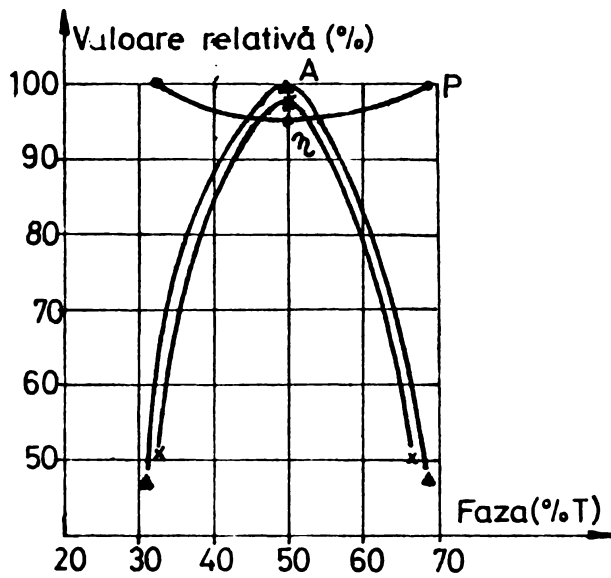
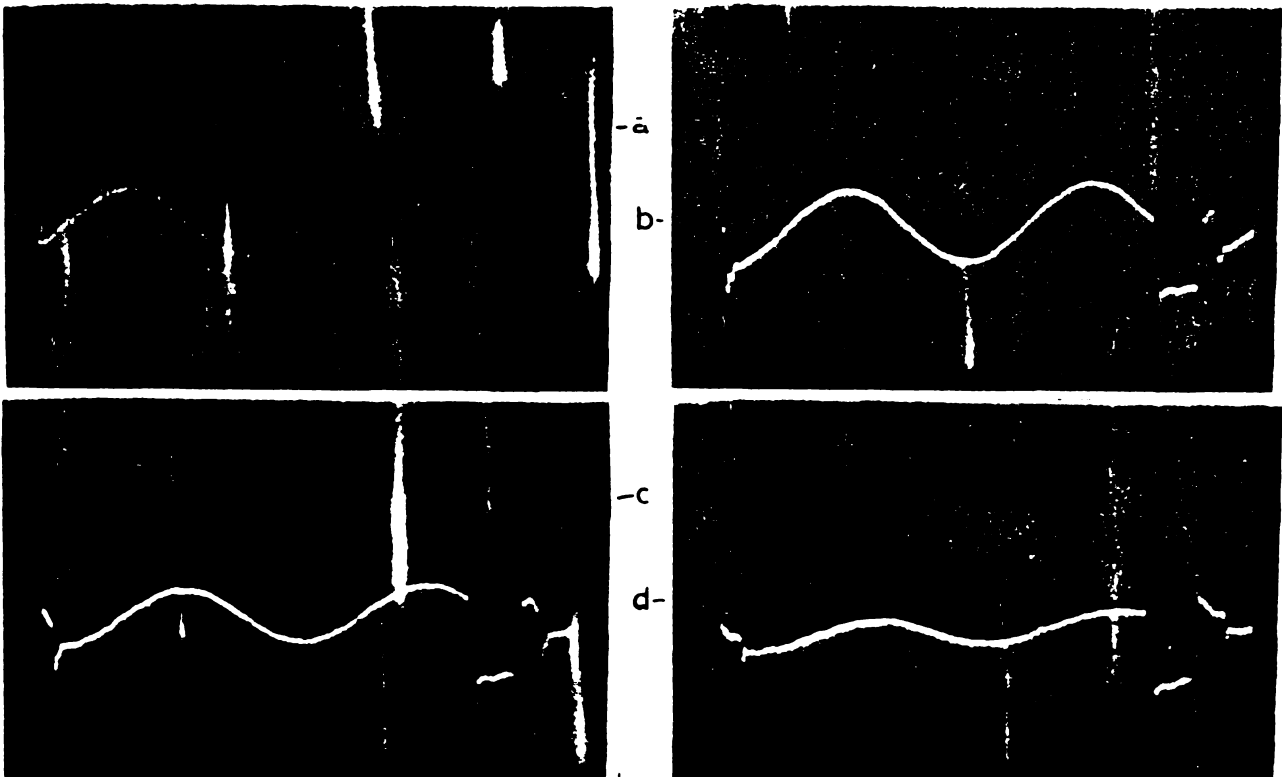


Fig.3.27

b) Mod de excitare asimetric. $t_i=16\%$, fig. 3.28 a-d



Rezultatele sînt prezentate în tabelul 3.5 și fig. 3.29.

Tabelul 3.5

Nr. fig.	ϕ_i	ϕ_s	A. rel.	P. rel.	η rel.	F	Obs.
3.28 a	41	57	96	61	100	20590	rez
3.28 b	24	41	100	76	82	20626	A.M.
3.28 c	16	32	75	95	49	20676	
3.28 d	12	28	50	100	31	20776	Arez

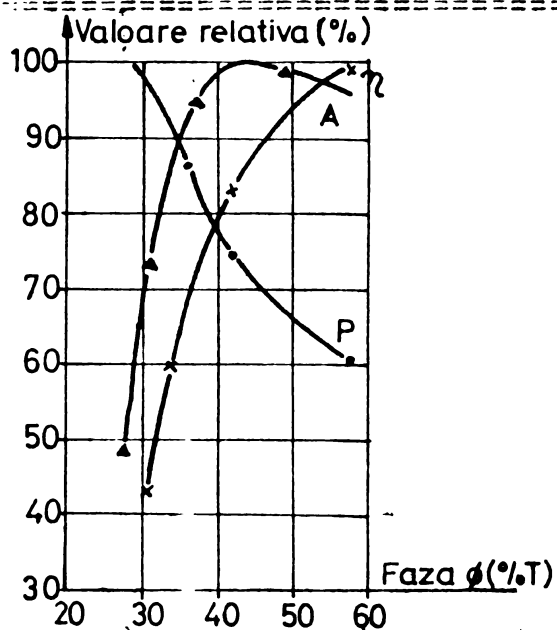
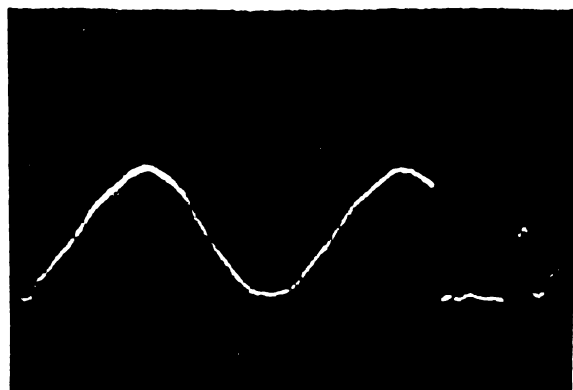
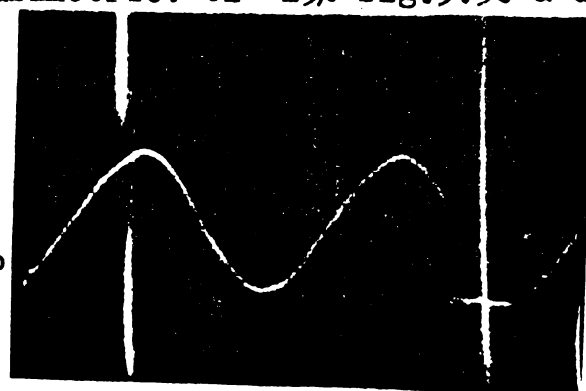
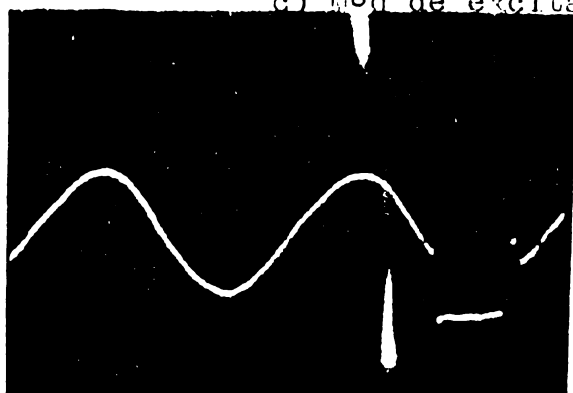


Fig. 3.29

c) mod de excitare asimetric. $t_i = 24\%$ fig. 3.30 a-d



Rezultatele sînt prezentate în tabelul 3.6 și fig. 3.31.
Tabelul 3.6.

Nr. Fig.	θ_1	θ_2	A. rel.	P. rel.	η rel.	F.	Obs.
3.30 a	29	34	92	46	100	0580	Rez.
3.30 b	20	45	100	57	87	0606	A.M.
3.30 c	12	37	96	84	57	0648	
3.30 d	6	30	69	100	34	20746	Arez.

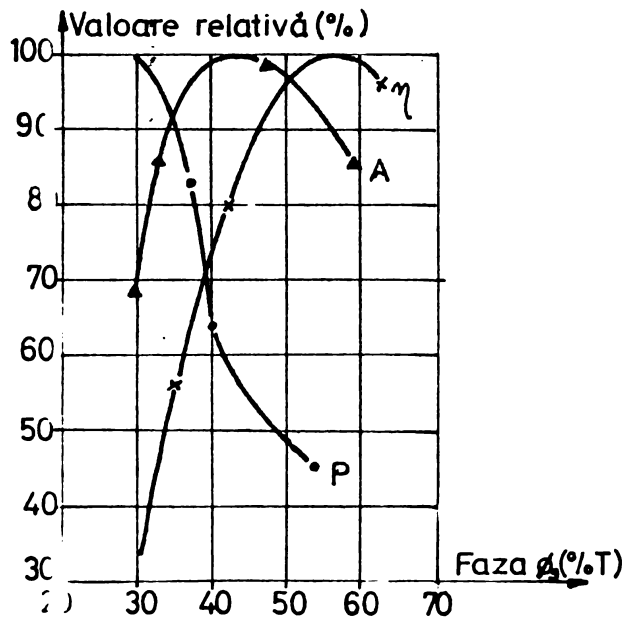
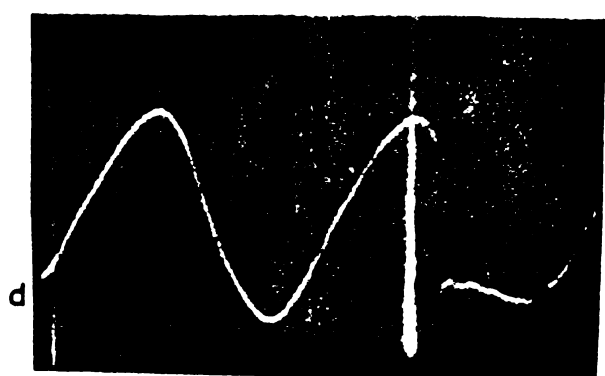
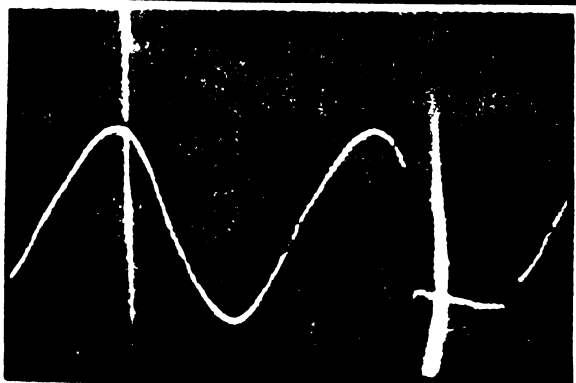
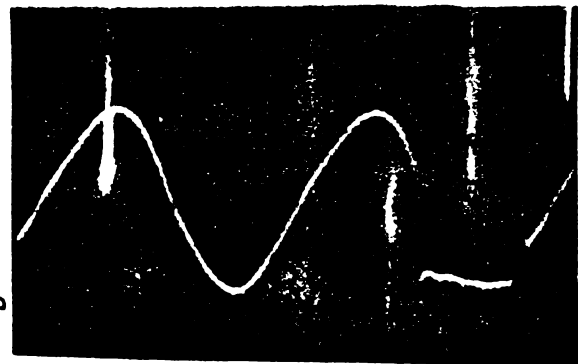
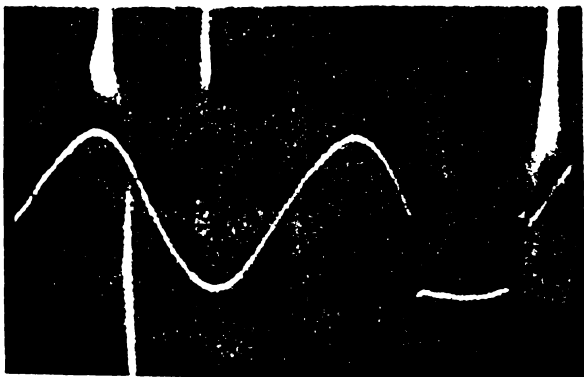


fig. 3.31

a) Mod de excitare asimetric $t_i=37\%$ fig. 3.32 a-i.



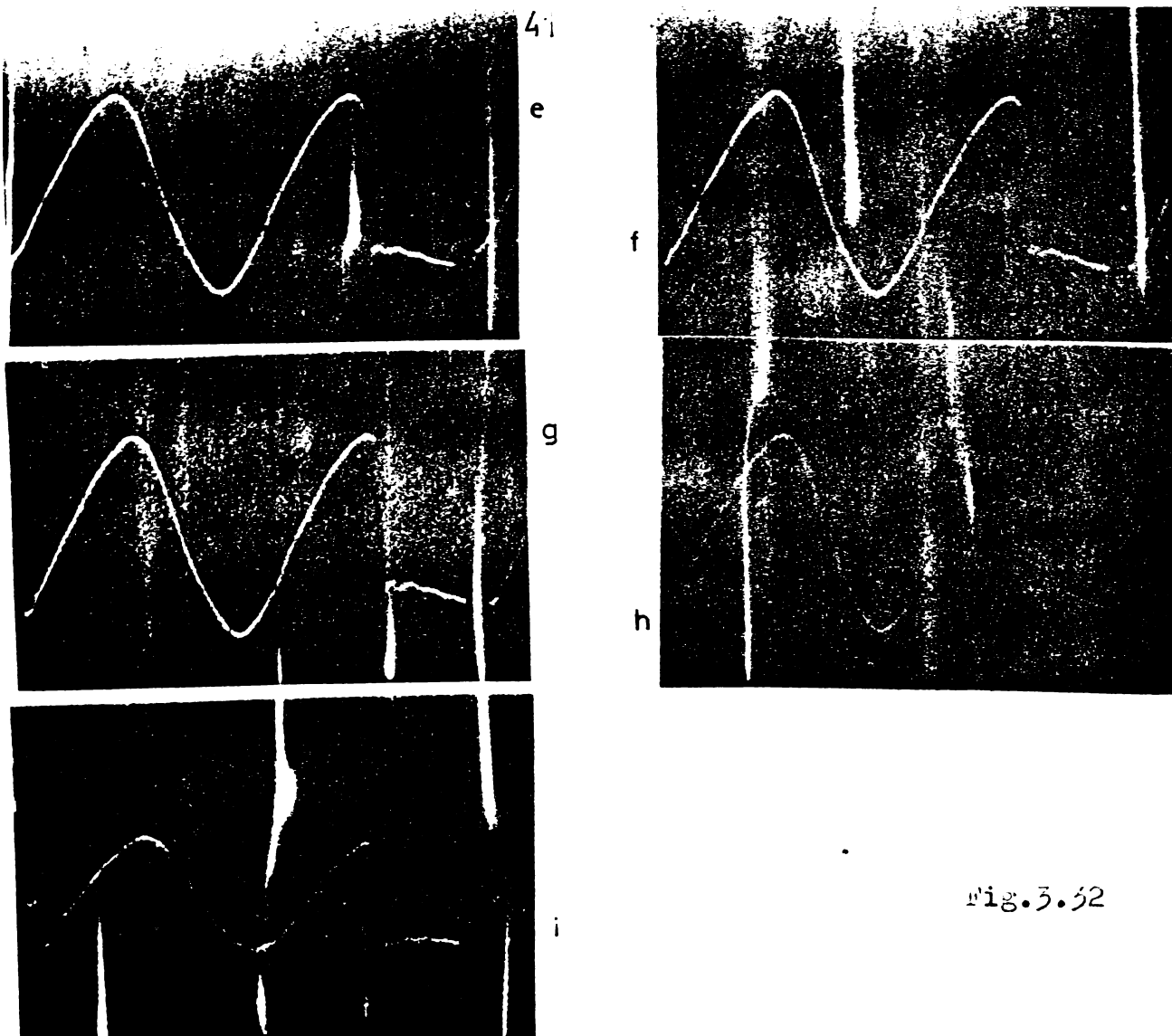


Fig. 3.32

Rezultatele sînt prezentate în tabelul 3.7 și fig. 3.33.

Tabelul 3.7.

Nr. fig.	ρ_i	ρ_m	ρ_s	A.rel.	P.rel.	η rel.	F.	Obs.
3.32 a	20	39	58	68	41	100	20510	Rez.
3.32 b	14	33	51	74	48	97	20580	
3.32 c	12	31	49	86	55	92	20586	
3.32 d	10	29	47	93	62	88	20596	
3.32 e	8	27	45	95,1	67	82	20510	
3.32 f	6	25	43	100	76	77	20636	
3.32 g	4	23	41	100	83	71	20642	A.M.
3.32 h	0,2	2	39	93	89	61	20664	
3.32 i	0,2	16	35	93	100	33	20744	Rez.

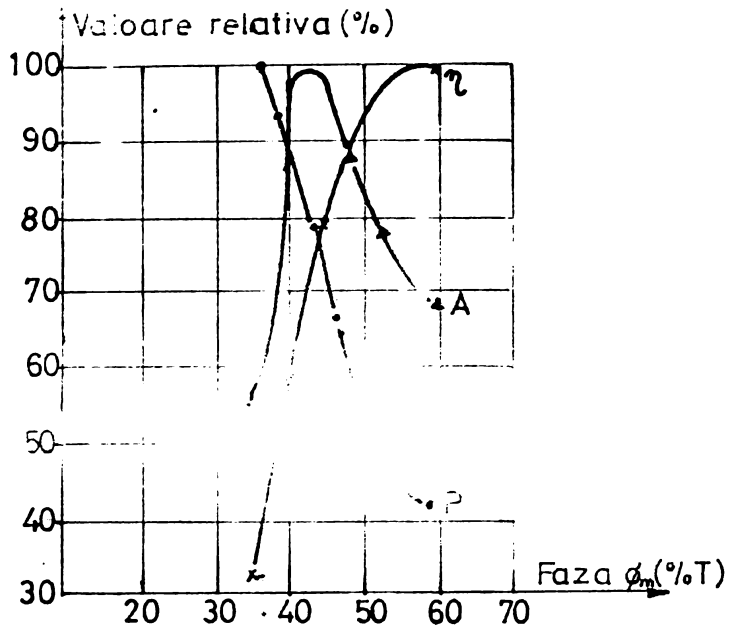


fig. 3.33

e) Mod de excitare asimetric $u_i = 50\%$, fig. 3.34 a-e.

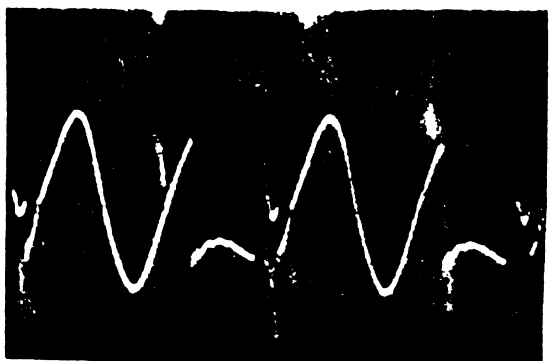
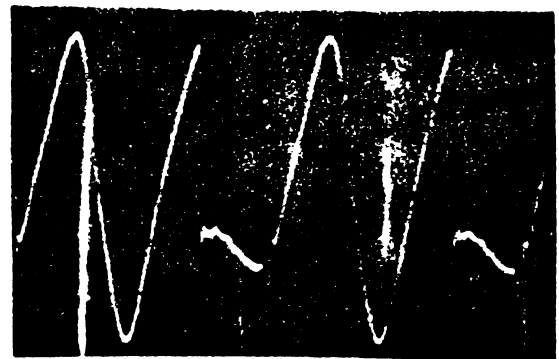
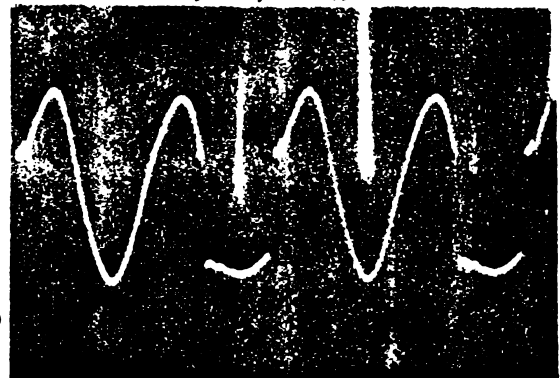


Fig. 3.34

rezultatele sînt prezentate în tabelul 3.8 și fig. 3.35.

Tabelul 3.8

Nr. fig.	ϕ_i	ϕ_s	A. rel.	P. rel.	η rel.	F	Obs.
3.34 a	25	7	41	37	58	20500	
3.34 b	40	65	51	51	100	20540	Rez.
3.34 c	60	57	45	60	60	20506	
3.34 d	-0+	45	70	70	68	20616	A.M.
3.34 e	-25	25	60	100	32	20754	Arez

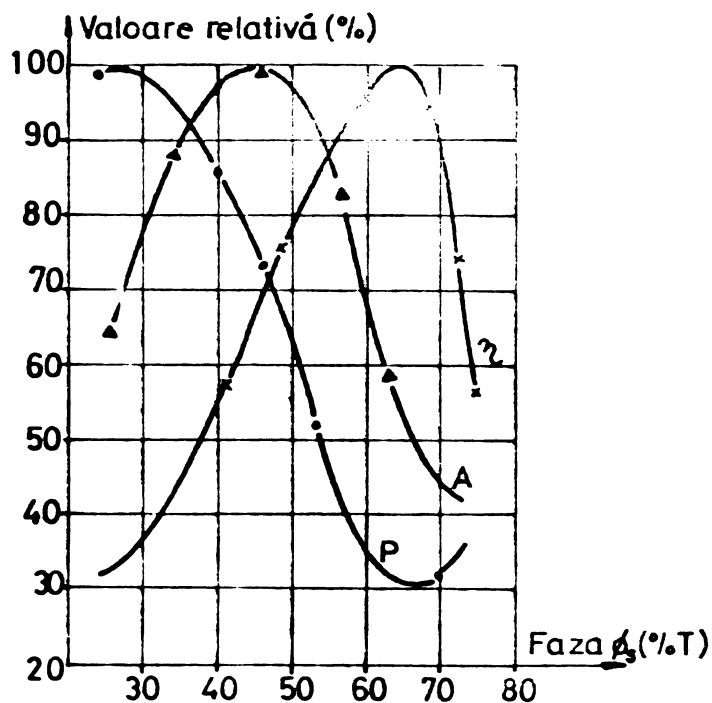


Fig. 3.35

3. Studiul variației amplitudinii oscilației funcție de fază.

Experiența s-a de măsurat cu un B.U. realizat din două ferite cuplate mecanic, ferita 2 I 20 fiind de bază iar ferita II 28 îndeplinind rolul de traductor - fig. 3.36. Acest tip de B.U. a permis efectuarea excitării în modul simetric. Factorul de umplere a fost de 50% pentru ambele alternanțe. Amplitudinea oscilației este prezentată în fig. 3.37 a-i.

Din aceeași figură se poate determina și faza, dintre excitație și răspuns.

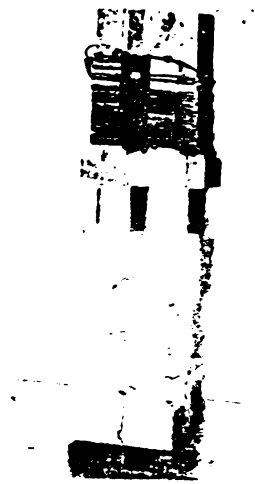
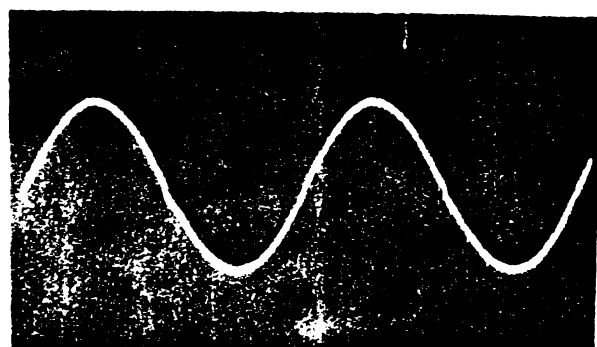
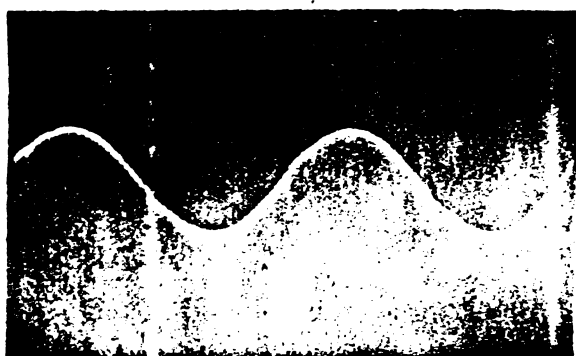
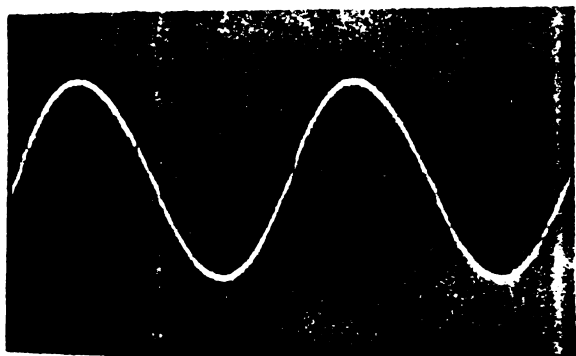


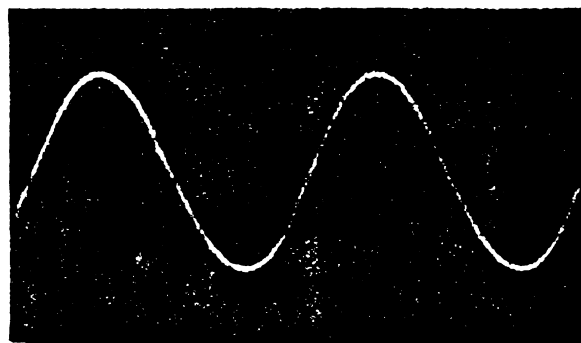
Fig. 3.36



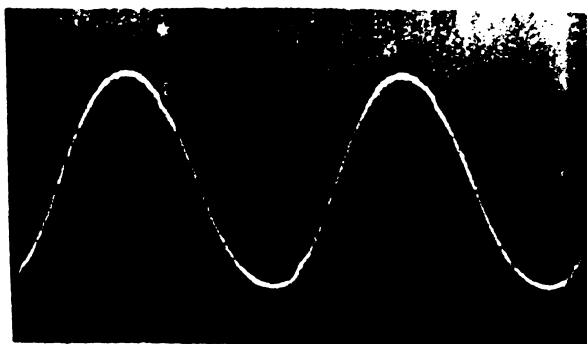
b



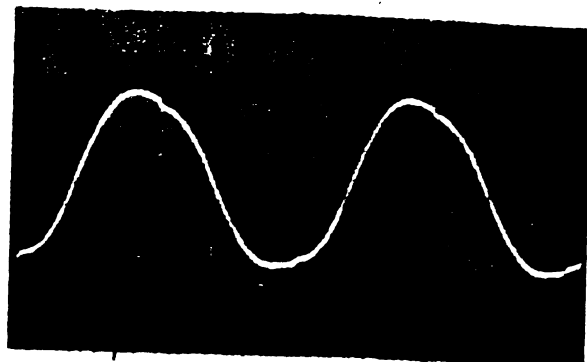
c



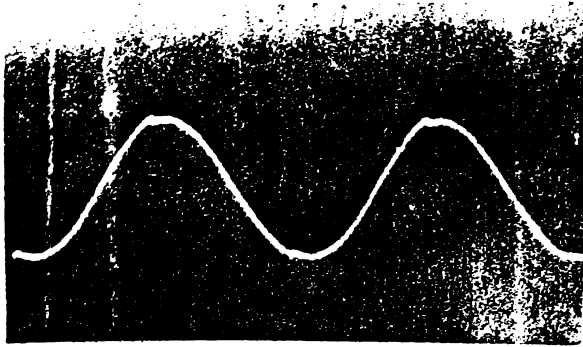
d



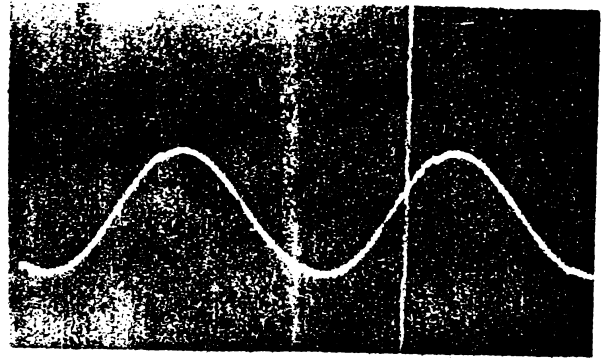
e



f



g



h

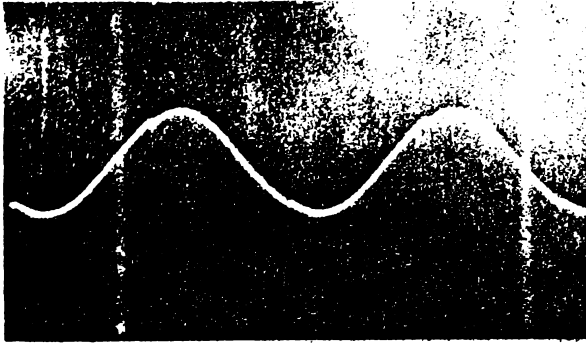


Fig.3.37

Rezultatele experimentului sînt prezentate în tabelul 3.9 și fig. 3.38.

Tabelul 3.9

Nr. fig.	f	\varnothing_s	A.rel.
3.37 a	20200	30	53
3.37 b	20300	27	65
3.37 c	20450	21	97
3.37 d	20500	14	100
3.37 e	20600	08	84
3.37 f	20700	04	74
3.37 g	20800	04	66
3.37 h	20900	03	60
3.37 i	21000	12	53

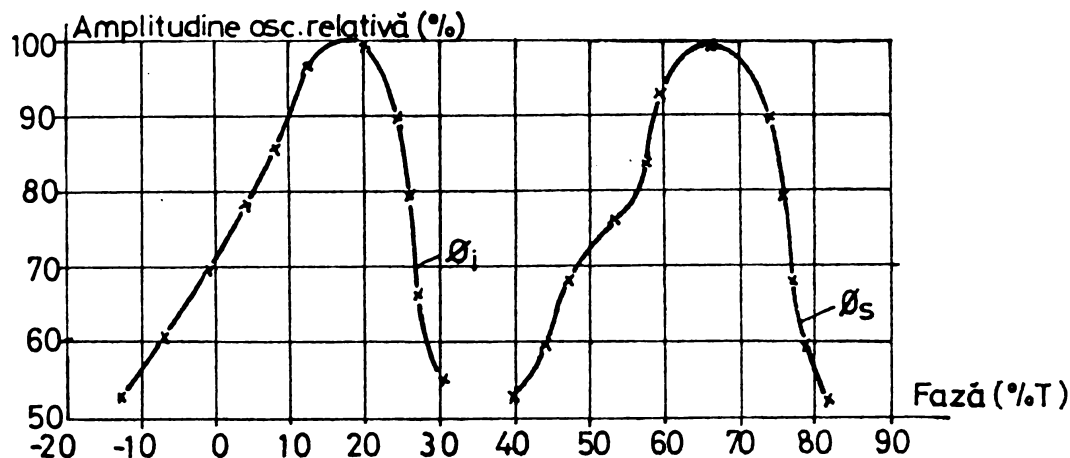


Fig. 3.38

În experimentări s-a evidențiat faptul că zona de rezonanță (fig. 3.18) își variază atât dimensiunile cât și poziția pe axa frecvențelor în funcție de:

- valoarea premagnetizării
- durata și amplitudinea excitației
- modul de excitație
- natura sarcinii mecanice
- temperatură.

Intr-o accepție mai largă prezintă importanță pentru aplicații tehnologice numai porțiunea cuprinsă între punctele Rez și Arez. Faptul că zona de rezonanță are acest gen de modificări prezintă importanță în unele aplicații tehnologice, deoarece în cele mai multe situații constituie un factor perturbator al adaptării BU cu zona tehnologică. Cunoașterea sensului și amplitudinii acestor perturbații constituie o condiție a compensării sau diminuării efectelor negative.

Amplitudinea oscilației blocului ultrasonic

Amplitudinea oscilației este în relație direct proporțională cu puterea absorbită de sistemul oscilant mecanic, reprezentând în măsura păstrării liniarității transferului energetic o modalitate de exprimare a puterii utile, cu condiția menținerii constante a sarcinii.

$$A_{\text{osc}} = k P_{\text{util}} \quad /3.16/$$

dacă

$$P_{\text{util}} \text{ sarcină} + P_{\text{pierderi}} \text{ sarcină} = \text{const.}$$

Amplitudinea oscilației pentru un anumit BU cu sarcină constantă și în condițiile menținerii constante a temperaturii

interne depinde de mai mulți factori dintre care mai importanți sînt durata, faza și amplitudinea impulsului de excitație precum și modul de excitare. În interiorul zonei de rezonanță amplitudinea poate avea diferite valori fiind mai mică la extremitățile acesteia și atîngînd o valoare maximă în interiorul ei. Referitor la durata impulsului de excitație s-a constatat experimental că prezintă interes pentru scopuri tehnologice doar valoarea cuprinsă între 5% pînă la 50% T . Creșterea duratei medii pe alternanță în cazul modului simetric nu mai duce la o creștere a amplitudinii ci din contră la o scădere a ei împreună cu o creștere considerabilă a puterii consumate. În cazul excitării asimetrice limita recomandabilă este de maximum 40% pînă la 45% din T . (fig. 3.39).

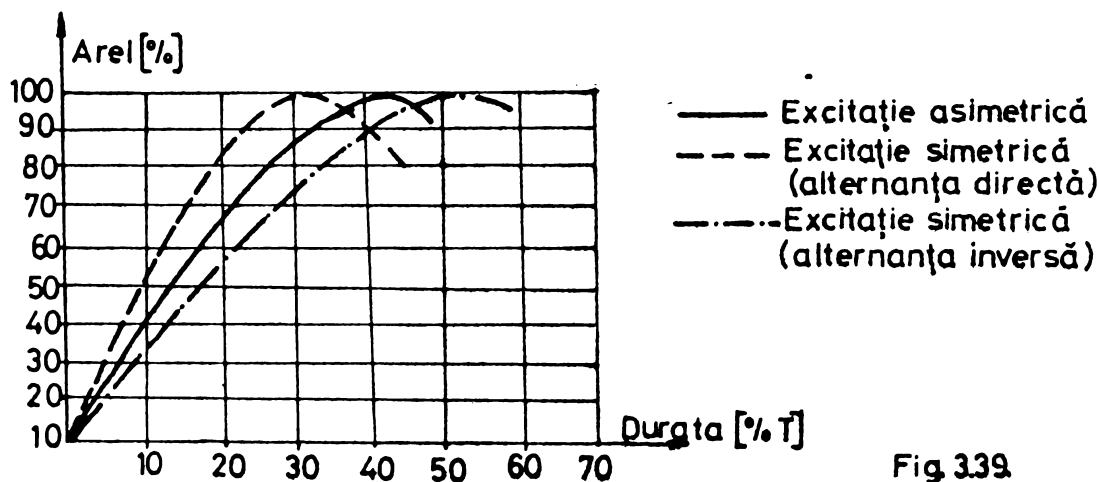


Fig. 3.39

În cazul excitării simetrice s-a constatat că se obțin rezultate mult mai bune, de regulă pentru puteri peste $0,5 P_{\max}$ admisibil, dacă duratele impulsurilor de excitație pentru cele două alternanțe sînt diferite și anume cea pentru excitarea directă să fie mai mică decît pentru excitarea inversă fără a se depăși un factor de umplere total de 90% - 100% (fig. 3.39). Acest fenomen se explică prin asimetria feritei la excitarea cu cîmpuri magnetice de acelaș sens ^{respectiv} de sens opus cîmpului de premagnetizare. Este important ca la proiectarea excitatoarelor pentru modul simetric să se ia în considerare această regulă pentru a mări atît randamentul cît și amplitudinea maximă obținută.

Faza dintre impulsul de excitație și oscilație are influență asupra amplitudinii acesteia fiind maximă la o valoare a fazei cuprinsă între valorile corespunzătoare punctelor de Rez și Arel.

Faza corespunzătoare a amplitudinii maxime se obține pentru cazul în care mijlocul impulsului de excitație este situat între 40% și 50% fig. 3.40 depinzând și de durata impulsului.

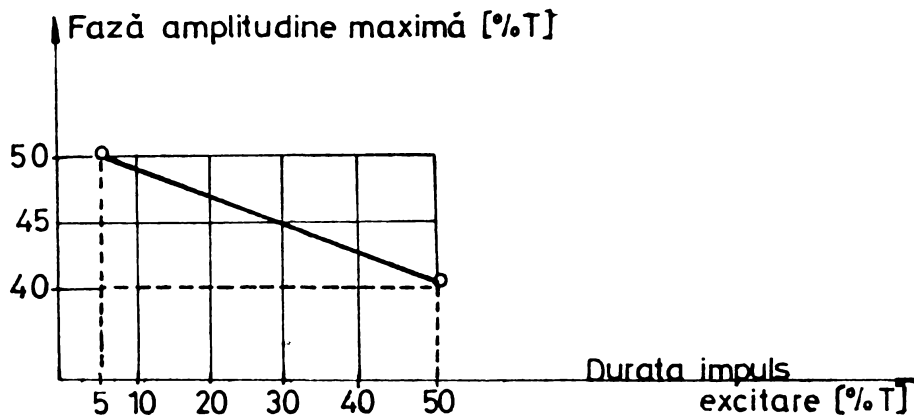
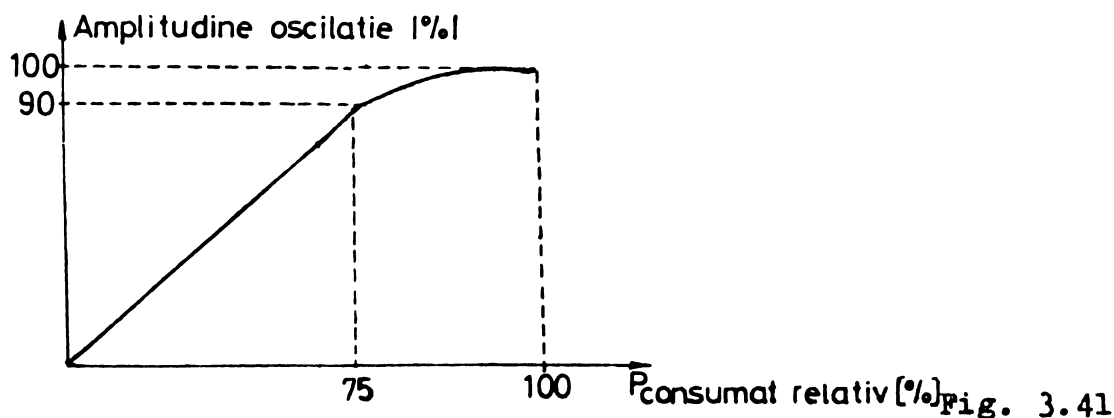


Fig. 3.40

În cazul menținerii constante a duratei și fazei impulsului de excitație între amplitudinea oscilației și valoarea tensiunii de alimentare există o relație de proporționalitate directă pînă la aproximativ 75% P_{max} fig. 3.41.



P_{max} admisibil reprezintă puterea electrică la care poate fi excitată ferita fără ca aceasta să se distrugă.

Puterea electrică medie consumată

Puterea medie consumată de etajul final pentru excitația TM de la un generator de tensiune constantă este

$$P_{med} = U I_{med} \quad /3.17/$$

În acest caz măsurarea puterii absorbite s-a făcut prin intermediul măsurării curentului, în experiențele prezentate anterior. În cazul menținerii unei faze constante și a unei durate variabile s-a remarcat că nu există o relație de proporționalitate

directă între durată și puterea medie consumată, fapt evidențiat în figurile (3.21 - 3.26) și în tabelele (3.1 - 3.3.). În cazul menținerii duratei constante cu schimbarea fazei se constată o scădere importantă a puterii consumate pentru o fază cuprinsă între 50% - 70% raportată la sfârșitul impulsului. Puterea minimă consumată corespunde, indiferent de durată, punctului de rezonanță iar cea maximă celui de antirezonanță. Variația fazei corespunzătoare punctului de rezonanță în funcție de durată este prezentată în figura 3.42

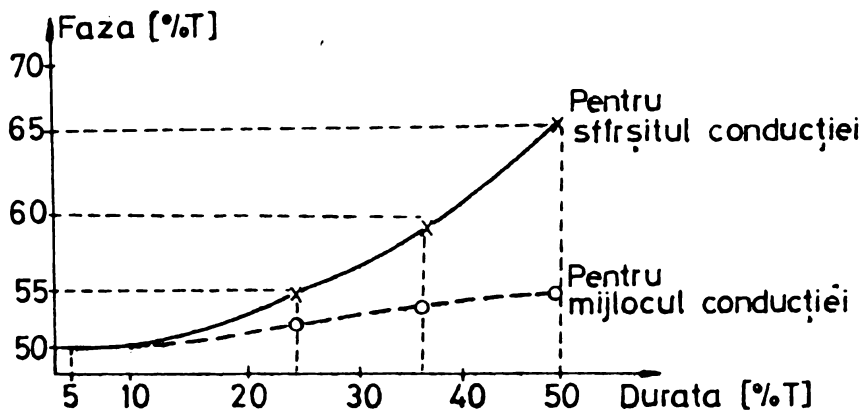


Fig. 3.42

Puterea consumată nu este direct proporțională cu tensiunea de alimentare a etajului final, în sensul că o dată cu creșterea acesteia, creșterea puterii consumate este mai accentuată tinzând către valoarea stabilită de rezistența ohmică a înfășurării TM fig. 3.43.

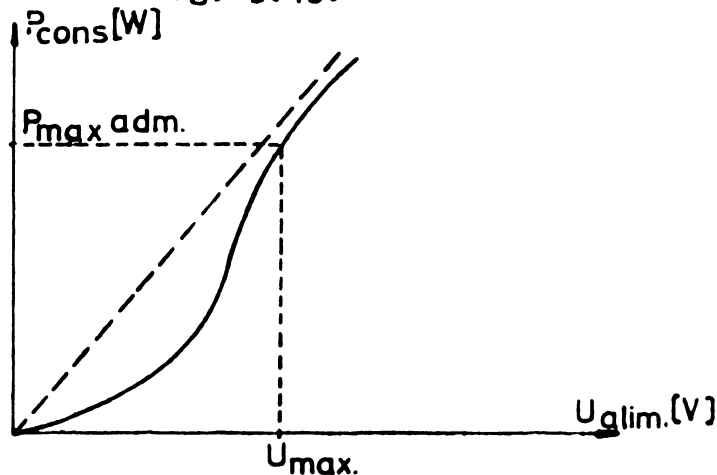


Fig. 3.43

Randamentul este în mod implicit o mărime influențată de durată, fază și amplitudinea impulsului de excitație. Din experiențele și constatările prezentate anterior s-au evidențiat următoarele relații de interdependență.

Durata influențează în mai mică măsură asupra randamentului. De regulă randamentul scade o dată cu creșterea duratei.

Faza influențează puternic asupra randamentului, acesta avînd valoarea maximă la rezonanță respectiv atunci cînd faza mijlocului impulsului de excitație are valori cuprinse între 50% - 55%.

Valoarea tensiunii de alimentare este în relație cu randamentul în sensul că acesta este mai bun la tensiuni mici și mult mai scăzut la tensiuni mari aproape de valorile maxim admisibile, fapt evidențiat în figurile (3.41 și 3.43).

Din aceste constatări se pot evidenția mai multe restricții de funcționare pentru optimizarea obținerii energiei ultrasonore. Alegerea punctului de funcționare cu randament maxim este în jurul rezonanței, dar aceasta este recomandabilă numai în cazul cînd sînt necesare amplitudini mai mici ale oscilației.

Se definește eficiența E a utilizării M , o mărime care să caracterizeze simultan randamentul și energia ultrasonoră ca fiind produsul a două rapoarte în relația 3.18

$$E = \frac{\eta_{\varnothing} A_{\varnothing}}{\eta_{\text{Rez}} A_{\text{Rez}}} \quad /3.18/$$

unde η_{\varnothing} = randamentul la faza de excitație \varnothing

A_{\varnothing} = amplitudinea la faza de excitație \varnothing

η_{rez} , A_{rez} = randament și amplitudine la rezonanță.

La rezonanță eficiența are valoarea 1. La punctul de amplitudine maximă eficiența are o valoare cuprinsă între 1,4 - 2. În figura 3.44 a se prezintă domeniul în care eficiența are valori acceptabile pentru utilizări tehnologice, în funcție de fază iar în 3.44 b în funcție de frecvență.

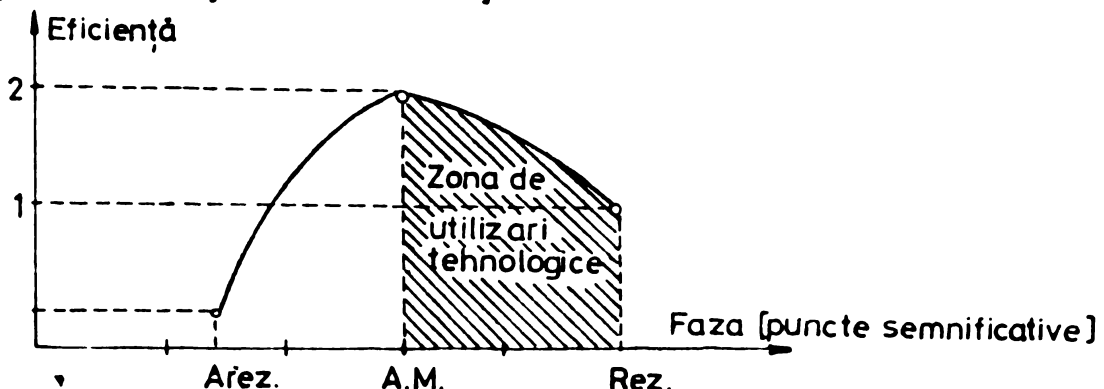


Fig. 3.44 a

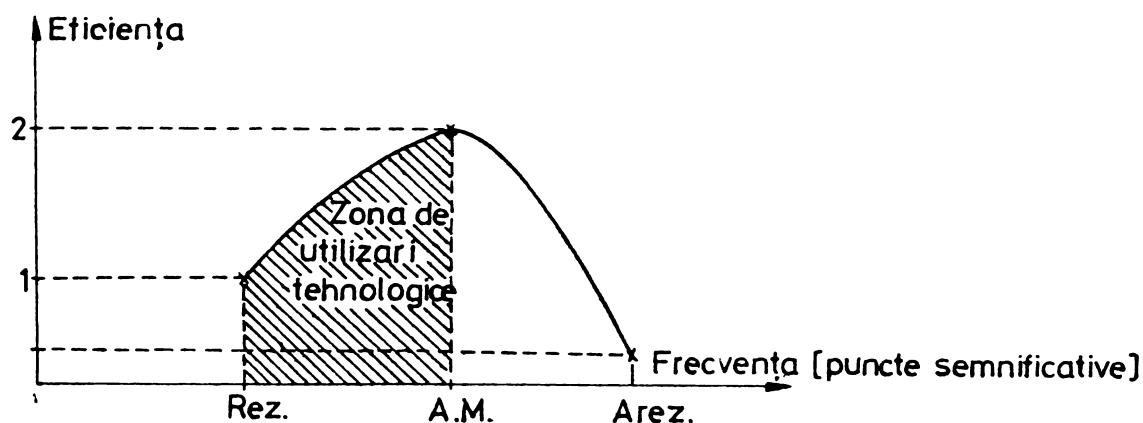


Fig. 3.44 b

Este necesar ca punctul de funcționare în fază sau frecvență să fie stabilit între rezonanță și amplitudinea maximă, menținându-se în această zonă prin diferite procedee tehnice. Este de remarcă faptul că această zonă se îngustează odată cu micșorarea duratei impulsului de excitație în conducție. Aceste constatări rămân valabile pentru toate modurile de excitație.

Dacă necesitățile de amplitudine nu sînt prea mari este recomandabilă alegerea punctului de funcționare în punctul de rezonanță deoarece pierderile prin căldură și implicit temperatura T_M rămîn la valori mai mici. Încălzirea T_M are ca efect scăderea randamentului. Utilizarea unor puncte de funcționare în apropierea amplitudinii maxime se recomandă în special în procese tehnologice cu caracter intermitent.

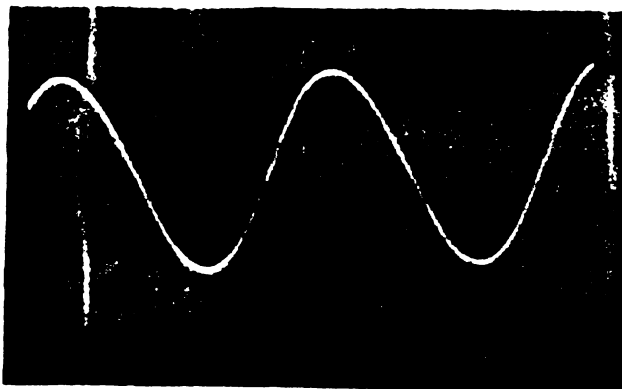
3.3.3 Studiu comparativ asupra modurilor de excitare

Pentru a evidenția avantajele sau dezavantajele unui mod de excitare sau al altuia s-au efectuat măsurători asupra TM menținându-se constanți toți parametrii și schimbându-se doar modul de excitare. S-au ales pentru studiu cele 3 puncte caracteristice ale zonei de rezonanță și anume rezonanța, anti-rezonanța și amplitudinea maximă. Pe parcursul acestui capitol se vor prezenta doar experimentele realizate cu BU din figura 3.36 care sînt în concordanță și cu alte experimente desfășurate cu alte tipuri de BU. Pentru cele 3 categorii de experimente s-au impus următoarele condiții comune:

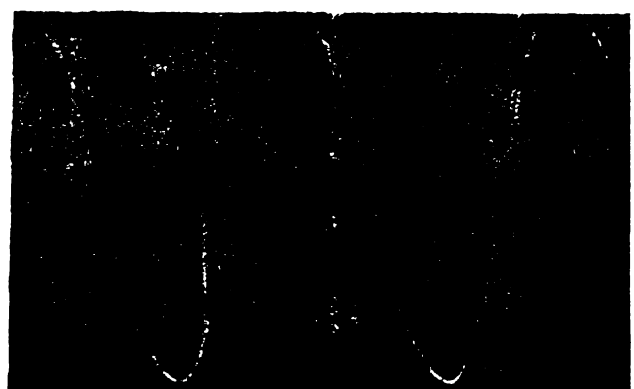
- tensiunea de alimentare identică și constantă
- factorul de umplere 50% pentru fiecare semialternanță
- utilizarea aceluiași tip de TM cu menținerea constantă a temperaturii și sarcinii mecanice.

S-au urmărit schimbările intervenite în valoarea amplitudinii oscilației, a puterii electrice consumate și randamentului. Exprimarea măsurărilor s-a efectuat în valori relative.

Excitarea asimetrică directă (fig. 3.45 a .. c)



a



b

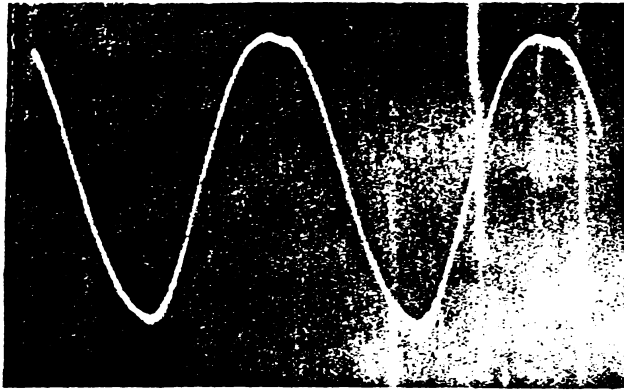


Fig. 3.45

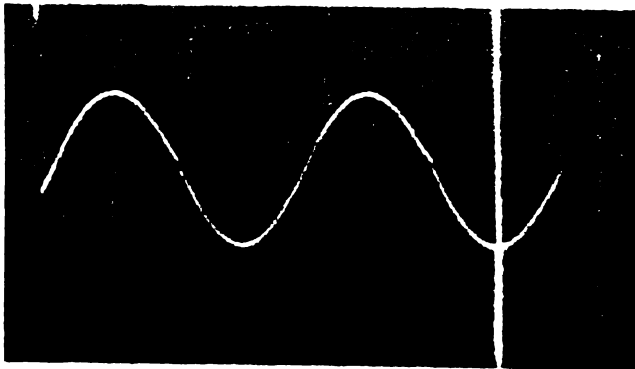
c

Rezultatele măsurărilor sînt prezentate în tabelul 3.10.

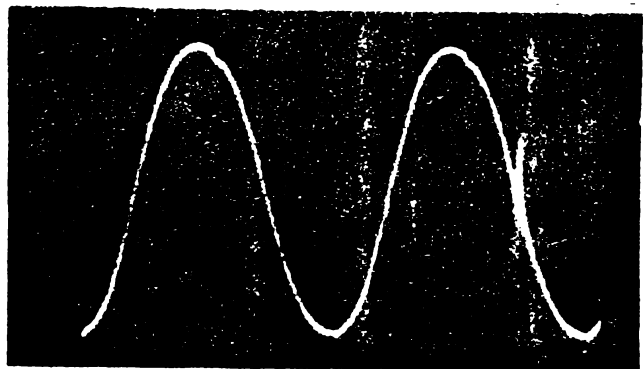
Tabelul 3.10

Nr.	F	A.rel.	P.rel.	η rel.	Obs.
3.45 a	20445	46	25	98	R
3.45 b	20573	87	65	71	A.M.
3.45 c	20684	65	81	34	A.R.

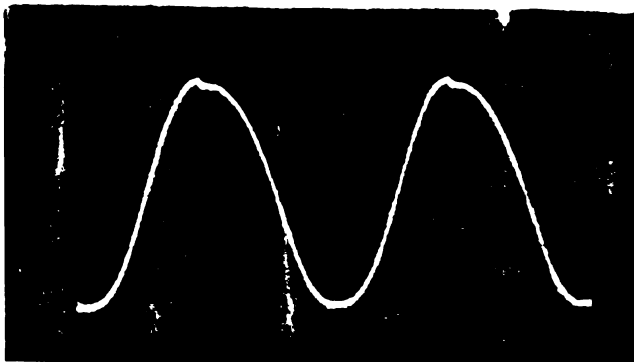
Excitația asimetrică inversă (fig. 3.46 a - c)



a



b



c

Fig. 3.46.

Rezultatele măsurării sînt prezentate în tabelul 3.11.

Tabelul 3.11

Nr.	F	A.rel.	P.rel.	η rel.	Obs.
3.46 a	20396	39	25	83	R
3.46 b	20521	72	50	62	A.M.
3.46 c	20629	56	65	46	A.R.

Excitația simetrică (fig. 3.47 a - c)

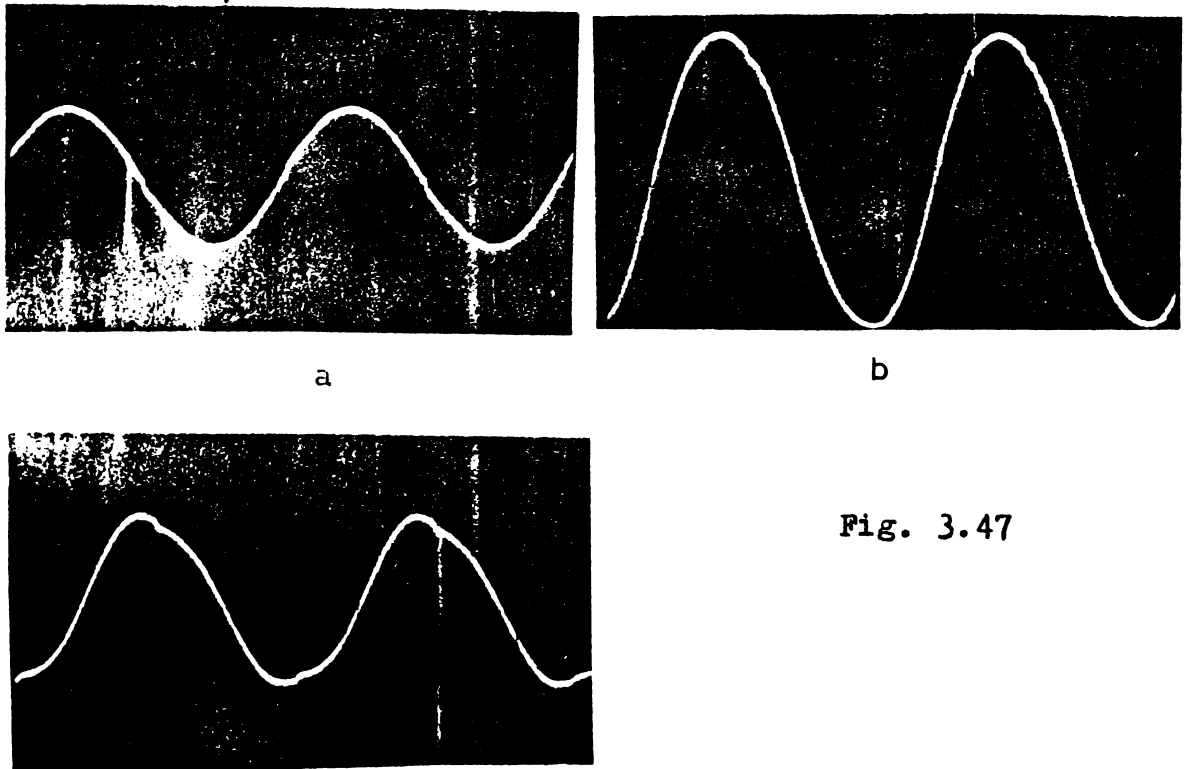


Fig. 3.47

Rezultatele măsurării sînt prezentate în tabelul 3.12.

Tabelul 3.12

Nr.	F	A.rel.	P.rel.	η rel.	Obs.
3.47 a	20416	47	25	100	R
3.47 b	20573	100	97	55	A.M.
3.47 c	20677	60	100	32	A.R.

Rezultatele măsurărilor sînt prezentate comparativ pentru fiecare punct semnificativ în parte în tabelele 3.13, 3.14, 3.15.

Tabelul 3.13. Rezonanța

Mod de excit.	A.rel.	η rel.	P.rel.
Simetric	47	100	25
Asimetric dir.	46	91	25
Asimetric inv.	39	85	25

Tabelul 3.14. Amplitudine maximă

Mod de excit.	A.rel.	η rel.	P.rel.
Simetric	100	55	97
Asimetric dir.	87	71	65
Asimetric inv.	72	62	50

Tabelul 3.15. Antirezonanța

Mod de excit.	A.rel.	η rel.	P.rel.
Simetric	60	32	100
Asimetric dir.	65	34	81
Asimetric inv.	56	46	65

În figura 3.48 a - c sînt prezentate grafic rezultatele măsurărilor exprimate separat pentru amplitudinea oscilației, puterea medie consumată și randament în valori relative.

Pentru a obține o amplitudine cît mai mare la un TM dat procedeul cel mai indicat este modul simetric de excitare, diferența dintre moduri fiind mai accentuată în zona amplitudinii maxime. În punctul rezonanței diferența dintre amplitudinea obținută între cele trei moduri este mult mai mică decît la alte puncte. Randamentul are o distribuție care depinde de faza la care se face excitația. La rezonanță valoarea cea mai bună a randamentului o are excitația simetrică, la amplitudinea maximă excitația asimetrică directă, iar la antirezonanță excitația asimetrică inversă.

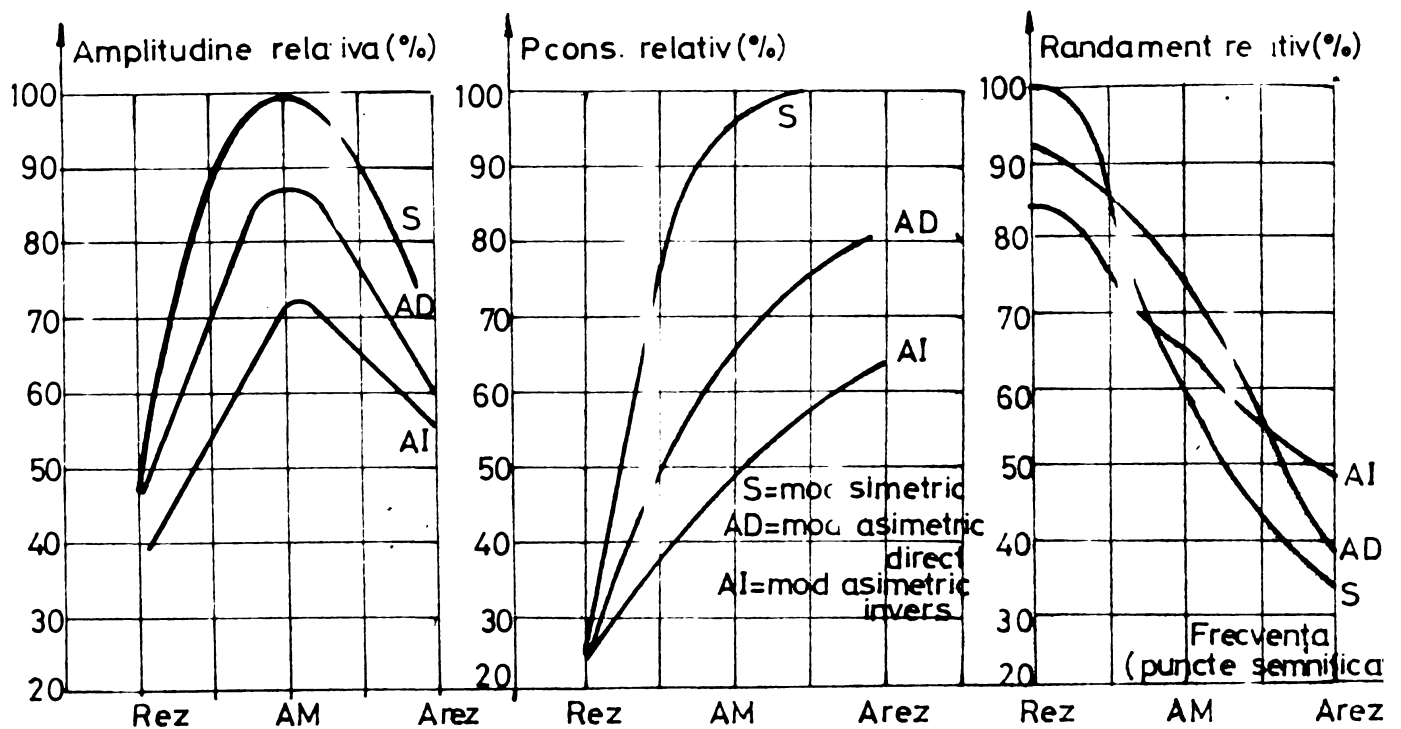


Fig. .48

Excitația asimetrică se realizează cu un excitator, cu o construcție simplă, la un preț de cost mic de aproximativ 2,2 ori decât pentru cel excitația simetrică. Excitația asimetrică directă se poate utiliza cu un cîmp de premagnetizare mai mic. Zona de lucru optimă este cuprinsă pentru fazele 25% - 50% măsurate la jumătatea impulsului de excitație. Excitația asimetrică inversă are o variație mai mică a randamentului în zona de oscilație și asigură o fiabilitate ridicată a TM prin faptul că prin acest mod se evită spargerea feritei la lucrul în gol. Pentru a mări randamentul în acest caz se recomandă creșterea premagnetizării pînă aproape de saturație. Excitația simetrică asigură cea mai bună utilizare a sursei de energie în zona amplitudinii maxime precum și o utilizare aproape completă a posibilităților dispozitivelor semiconductoare și a feritelor magnetostrictive. Prețul de cost și gradul de complexitate al schemelor de excitație simetrică sînt mai ridicate în cazul în care factorul de umplere este diferit de 100% iar durata de conducție pe cele 2 alternanțe nu are aceleași valori.

În concluzie se poate afirma că precizarea naturii celor 3 moduri de excitație, condițiile transferului optim pentru fiecare

mod de excitare, avantajelor și dezavantajelor utilizării lor constituie un pas important pentru rezolvarea unora din obiectivele optimizării exprimate în subcapitolul 3.1.

3.4 Studiul etajelor finale pentru excitarea în comutație

Etajele finale lucrând în comutație, realizate cu dispozitive semiconductoare, au funcția de conectare și deconectare a înfășurării de excitație a BU la o sursă de tensiune. Aceste etaje trebuie să îndeplinească următoarele condiții;

- utilizarea la maximum a posibilităților dispozitivelor semiconductoare;
- să fie protejate la supratensiuni, supracurenți și temperatură;
- să asigure timpi de comutație cât mai mici;
- puteri disipate cât mai mici;
- posibilități de adaptare la diferite impedanțe, posibilitatea cuplării în paralel a mai multor etaje în scopul măririi puterii în sarcină;
- în lipsa semnalului de comandă să rămână în poziție blocat.

Din mai multe variante de scheme pentru etaje finale proiectate și verificate experimental, realizate în întregime cu piese de producție indigenă, se prezintă cea din fig. 3.49, care este o celulă elementară pentru diferite tipuri de etaje finale mai complexe, realizate prin combinații ale acesteia. Etajul final propriu-zis este format din tranzistorul T_3 , tranzistor de putere de tip 2 N. 3055 cu funcția de comutator electronic, toate celelalte elemente contribuind la comanda și protecția acestuia. Din punct de vedere teoretic cu ajutorul unui astfel de etaj final se poate realiza controlul unei puteri pe o sarcină rezistivă de 4Ω , prin variația factorului de umplere între 0% și 100% de la 0 - 900 W, la o frecvență de lucru pînă la 1 000 Hz, cu puteri maxime disipate pe tranzistor de aproximativ 30 W. În cazul comutării pe o sarcină de tipul TM care prezintă o reactanță complexă de obicei inductivă, suprapusă cu un generator de tensiune sinusoidală.

idală axată pe nivelul tensiunii de alimentare V_{cc} , puterea controlată scade de aproximativ 10 ori la o frecvență de 50kHz și de 5 ori la o frecvență de 20 kHz.

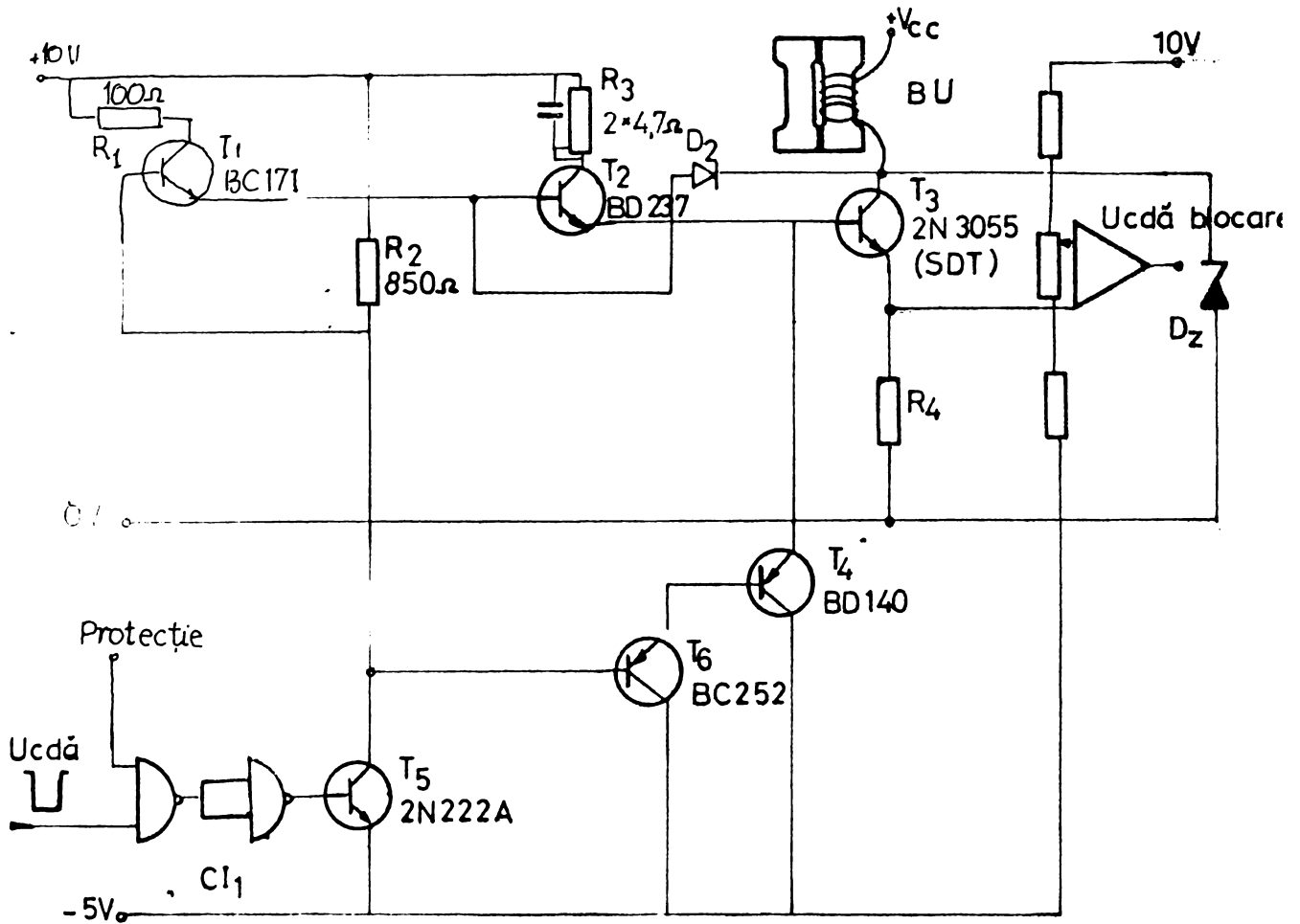


Fig. 3.49

Etajul de comandă a oscilației compus din T_{1-6} și CI (circuitul integrat), realizează comanda în funcție de impulsurile aplicate la intrare. Circuitul realizează, în baza tranzistorului T_3 , un curent de forma prezentată în fig. 3.50.

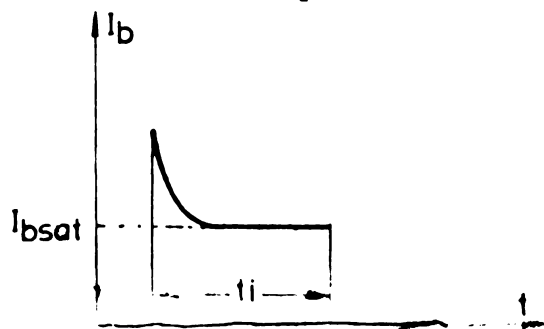


Fig. 3.50

Presupunem că T_3 este blocat, ceea ce corespunde stării 0 la intrarea CI; în acest caz T_5 conduce, potențialul din colectorul său fiind cel de saturație situat la aproximativ -5 V, potențial care se aplică joncțiunilor BE ale tranzistoarelor T_{1-3} menținându-le blocate. În această situație și tranzistoarele T_4, T_6 sînt blocate. Dioda D_2 este blocată de tensiunea din colectorul lui T_1 . La schimbarea de la intrare a stării 0 în stare 1, tranzistorul T_5 se blochează iar tranzistorul T_1 se deschide la saturație, provocînd deschiderea lui T_2 și apoi a lui T_3 . Curentul injectat în baza lui T_3 este de valoare foarte mare în momentul inițial deoarece acesta depășește valoarea lui $I_{2\text{ sat}}$ datorită capacității de accelerare, fiind limitat ulterior la valoarea corespunzătoare lui I_{sat}/β datorită reacției negative prin dioda D_2 . Deoarece obișnuit sarcina are un caracter inductiv, la intrarea în conducție, curentul are valoarea 0 urmînd ulterior o creștere corespunzătoare stabilirii acestuia prin bobină, iar dacă se produce și fenomenul de rezonanță curentul este modulat sinusoidal de tensiunea magnetostrictivă inversă (figurile din anexa 1). În timpul funcționării pot apărea și situații în care caracterul sarcinii să fie pur rezistiv sau chiar capacitiv motiv pentru care se justifică prezența unui circuit de accelerare la intrarea în conducție.

O particularitate a schemei o prezintă fixarea tensiunii de colector a lui T_3 la limita de saturație astfel; dacă potențialul de colector ar avea tendința să scadă sub valoarea celui al propriei baze atunci dioda D_2 se deschide dirijînd o parte din curentul lui T_1 către colectorul lui T_3 . În acest mod indiferent de valoarea curentului I_3

$$V_{CE_3} = V_{BE_3} + (V_{BE_{T_2}} - V_{D_2}) \leq 1,1 \text{ V} \quad /3.20/$$

Prezența diodei D_2 constituie și un factor suplimentar de accelerare a intrării în conducție chiar și în lipsa lui C_1 datorită faptului că la momentul t_{0+1}

$$I_{B_3} = I_{\text{C sat}_2} > I_{\text{B sat,max}_3} \quad /3.21/$$

Valoarea puterii maxime disipate în conducție este

$$P_{\text{B sat,max}_3} = V_{\text{CE sat}} I_{\text{C max}} \quad /3.22/$$

. / .

Rezistența R_4 este necesară pentru asigurarea egalității curenților de colector în cazul cuplării mai multor etaje în paralel și pentru acționarea circuitului de protecție la supracurent. Trecerea din starea de conducție în starea blocat se realizează prin trecerea intrării din starea 0 în starea 1. Prin aceasta T_5 intră în conducție, potențialul său scade la valoarea $(-5 \text{ V} + V_{CE, \text{sat}})$ ceea ce duce la blocarea succesivă a tranzistoarelor T_{1-3} și a diodei D_2 . Accelerarea blocării se realizează prin conectarea unei tensiuni negative de -4 V în baza lui T_3 prin intermediul lui T_4 care preia purtătorii de sarcină și care este comandat la rîndul său de curentul de emitor al lui T_6 . În acest mod se realizează o comutare rapidă cu un timp de tranziție de $1 \mu\text{s}$ pentru cele mai defavorabile cazuri.

În timpul blocării datorită întreruperii curentului prin inductanța echivalentă a TM apare o tensiune de autoinducție de valori foarte mari aproximativ 3 - 4 ori E_{cc} , care fără măsuri speciale ar putea străpunge joncțiunea colector-bază a tranzistorului T_3 . Pentru evitarea străpungerii nu este aplicabilă solu-

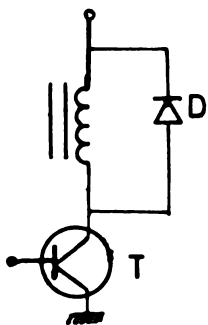


Fig. 3.50-1

ția montării unei diode în paralel pe înfășurarea TM fig. 3.50-1 deoarece aceasta ar duce la atenuarea oscilației mecanice prin scurtcircuitarea tensiunii rezultate prin efect magnetostrictiv invers a cărei valoare suprapusă peste V_{cc} poate crea o tensiune egală cu $V_{CEbl} = 2 V_{cc}$ pentru modul de excitare asimetric și $V_{CEbl} = 1,5 V_{cc}$ pentru modul de excitare simetric.

În regimul blocat puterea disipată, maximă este

$$P_{Dmax, bl.} = V_{CEbl} I_{Cbo} \quad /3.23/$$

În perioada de tranziție admitînd o variație liniară a curentului și tensiunii puterea disipată medie la tranziție este:

$$P_{D \text{ tranz. med.}} = \frac{1}{T} \left(\int_0^{t_c} \frac{V_{CEbl} I_{Cmax} (t_c - t)}{t_c} dt + \int_0^{t_b} \frac{V_{CEbl} I_{Cmax} (t_b - t)}{t_b} dt \right) = \frac{V_{CEbl} I_{Cmax}}{6} \left(\frac{t_c + t_b}{t} \right) \quad /3.24/$$

cu condiția existenței unui circuit de protecție la suprasarcină în tensiune fixat la valoarea $V_{ccmax, adm.}$.

unde t_c = timpul de tranziție la intrare în conducție și t_b = timpul de tranziție la intrarea în blocare.

Datorită faptului că puterea disipată la intrarea în conducție are valori mici, partea cea mai mare a puterii de tranziție revine blocării, când se disipă și o mare parte din energia acumulată în câmpul magnetic. În lipsa circuitului de protecție puterea de tranziție are valoarea:

$$P_{D\text{tranz.med.}} = 4-5 \int_0^{t_b} E_{cc} \frac{t}{t_b} I_{C\text{max.}} \frac{t_b - t}{t_b} dt \quad /3.25/$$

fig.3.51

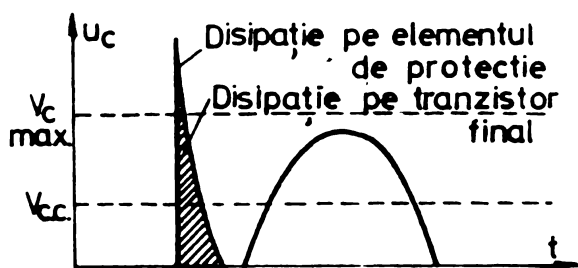


Fig.3.51

O parte din puterea pierdută la ieșirea din conducție se disipă pe elementul de protecție și o parte pe tranzistorul final. Puterea medie maximă, electrică, ce poate fi debitată unei sarcini magnetostrictive este:

$$P_{\text{med,max.}} = \frac{V_{cc\text{max}}}{4} I_{C\text{med,max.}} \frac{t_{on}}{T} \quad /3.26/$$

pentru excitația asimetrică și

$$P_{\text{med,max.}} = \frac{V_{cc\text{max}}}{3} I_{C\text{med,max.}} \frac{t_{on}}{T} \quad /3.27/$$

pentru excitația simetrică, unde

$V_{cc\text{max}}$ = tensiunea colector-emitor maximă care poate fi aplicată tranzistorului final

$I_{C\text{max}}$ = curentul de colector maxim care poate fi suportat de tranzistorul final

$$I_{C\text{med,max.}} = \frac{I_{C\text{max}}}{\sqrt{2}}$$

t_{on} = timpul de conducție .

Concret , rezultă pentru o frecvență de 18 kHz o putere maximă debitată de 150 W pentru excitația asimetrică și de aproximativ 250 W pentru excitația simetrică, caz în care etajul final este realizat din două celule independente.

./ .

În timpul funcționării în comutație etajul final este supus la solicitări în tensiune și curent, atât în timpul onducției, al blocării, cât și în momentele de tranziție. Formele tensiunii și curenților pentru diferite situații sînt prezentate în anexa 1.

Pentru creșterea fiabilității, etajul final este protejat de mai multe circuite (fig. 3.52).

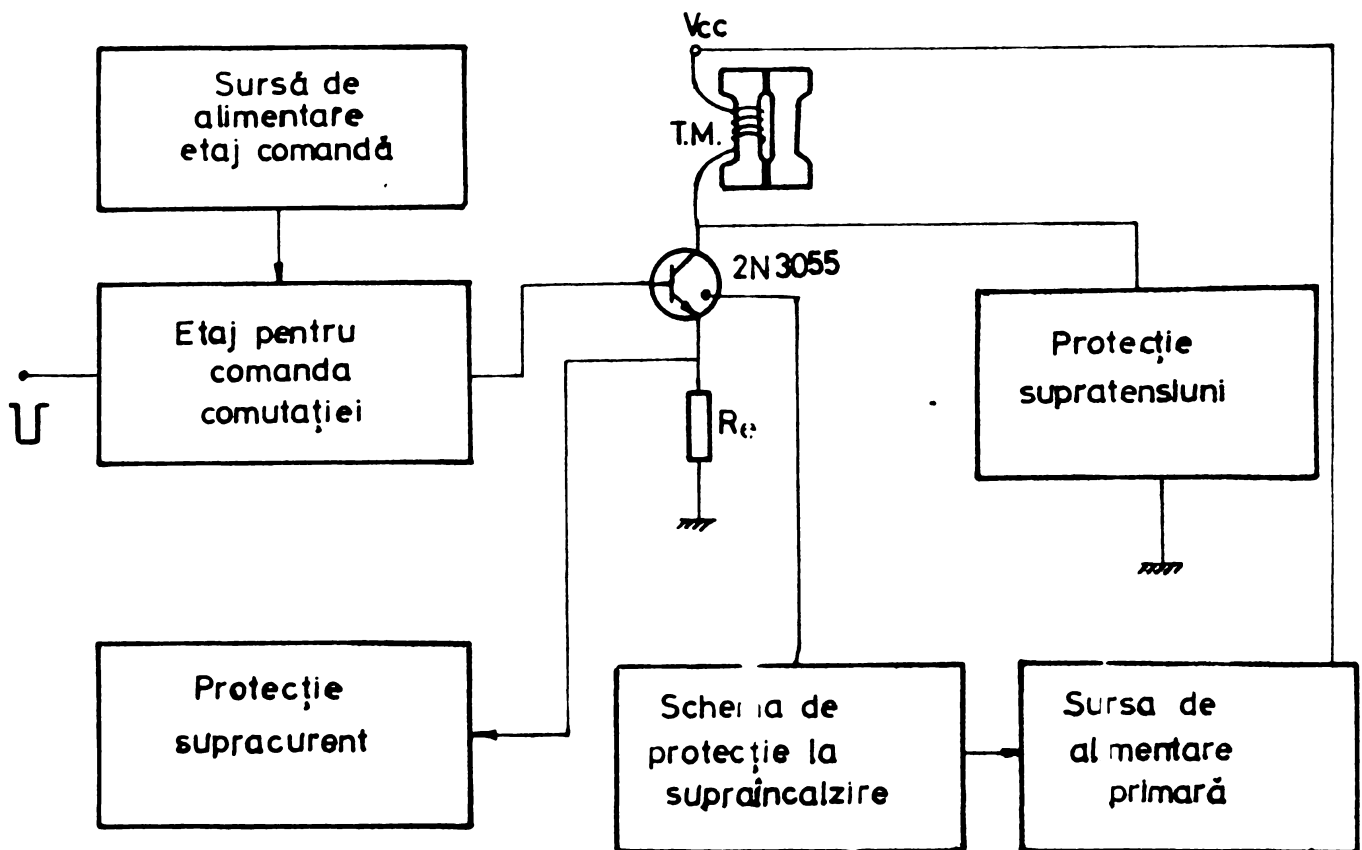


Fig. 3.52

Protecția la supracurent acționează la depășirea unei valori de prag fapt sesizat de un comparator de tensiune care și schimbă starea logică la ieșire și care printr-un circuit de adaptare acționează asupra uneia din intrările CI_1 realizându-se astfel închiderea comenzii de conducție și blocarea lui T_3 . În cazul în care excitatorul este format din mai multe etaje cuplate în paralel pentru acestea protecția la supracurent este unică.

Protecția la supratensiune se realizează cu o diodă Zenner de putere montată pe același radiator cu tranzistorul final.

Protecția termică se realizează cu un termistor în contact termic cu radiatorul lui T_3 . Printr-un comparator de tensiune se sesizează depășirea unui anumit prag, fapt care are drept consecință schimbarea stării logice de la ieșire și decuplarea circuitului de forță. În cazul lucrului mai multor etaje finale acțiunea de protecție se realizează printr-un singur releu montat pe traseul energetic principal.

În concluzie, se poate afirma că utilizarea etajelor finale tipizate este o soluție avantajoasă, atât din punct de vedere constructiv cât și pentru faptul că se pot realiza combinații într-un mod relativ simplu, atât pentru mărirea puterii cât și pentru realizarea unor diferite configurații de excitatoare din cadrul schemei bloc generale prezentate în capitolul anterior.

3.5 STUDIUL GENERATOARELOR DE IMPULSURI PENTRU COMANDA ETAJULUI FINAL AL EXCITATORULUI

În capitolul referitor la structura generală a unei instalații pentru generarea ultrasunetelor se evidențiază rolul și conexiunile generatorului pilot de impulsuri pentru excitație. La rândul lui acesta are structura prezentată în fig. 3.53.

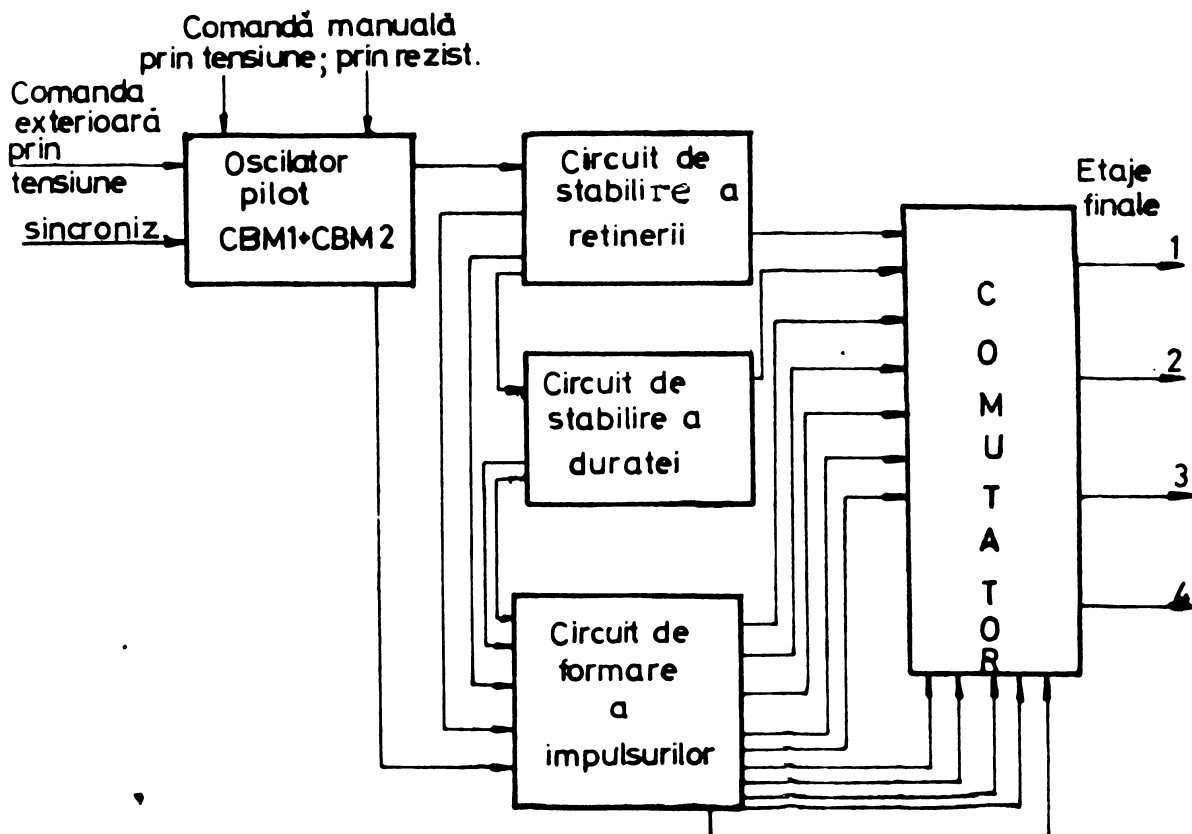


Fig. 3.53

Oscilatorul pilot generează impulsuri de sincronizare de 4 V și $1\mu s$ cu o frecvență de repetiție reglabilă între 2 - 50 kHz. Aceste impulsuri se aplică circuitului de stabilire a reținerii și circuitului de formare a impulsurilor. Frecvența impulsurilor poate fi controlată prin mai multe procedee;

a) sincronizare din exterior cu impulsuri care pot proveni de la un generator exterior sau de la schema de reglare automată a fazei; Condiția de sincronism este $f_{\text{sincro}} > f_{\text{osc}}$,

b) comandă prin tensiune. Constructiv există o intrare care prin valoarea tensiunii determină valoarea frecvenței

$$f_{\text{osc}} = k U_{\text{cdă}} \quad (3.28)$$

Această modalitate de control a frecvenței permite atât comanda manuală cât și comanda automată mult mai simplu decât prin schimbarea valorii unui element de circuit rezistiv sau capacitiv. Prin variația tensiunii de intrare în limitele stabilite constructiv se asigură baleiajul întregii game de frecvențe. Impulsurile de sincronizare de la ieșirea oscilatorului pilot sînt prezentate în figura 3.59

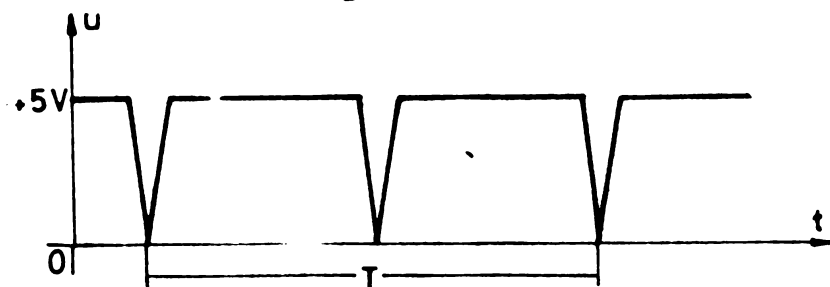


Fig. 3.59.

Aceste impulsuri se aplică circuitelor de stabilire a reținerii și duratei din care se obțin impulsuri dreptunghiulare cu o frecvență egală cu a lor și cu un factor de umplere cuprins între 5% - 90% prezentate în figurile 3.55 - 3.65.

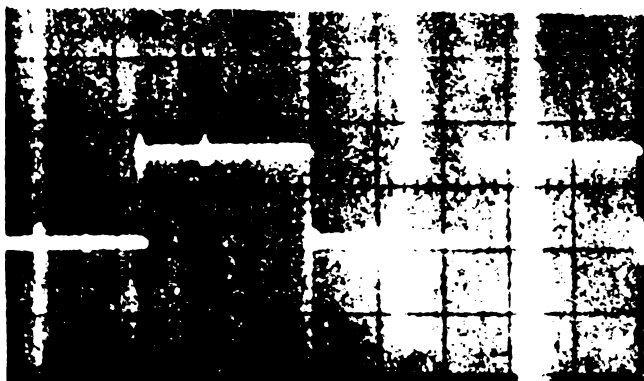


Fig. 3.55

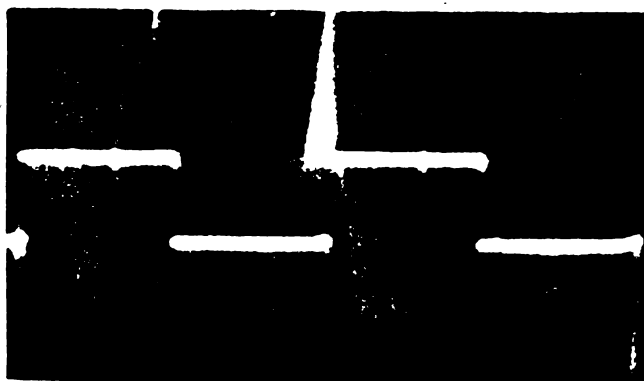


Fig. 3.56

Figurile 3.55, 3.56 reprezintă semnale fără reținere, sincronizate direct cu un factor de umplere riguros constant de 50%. Semnalele sînt decalate între ele cu o jumătate de perioadă și sînt destinate modului simetric. Provin de la ieșirea circuitului de stabilire a reținerii.

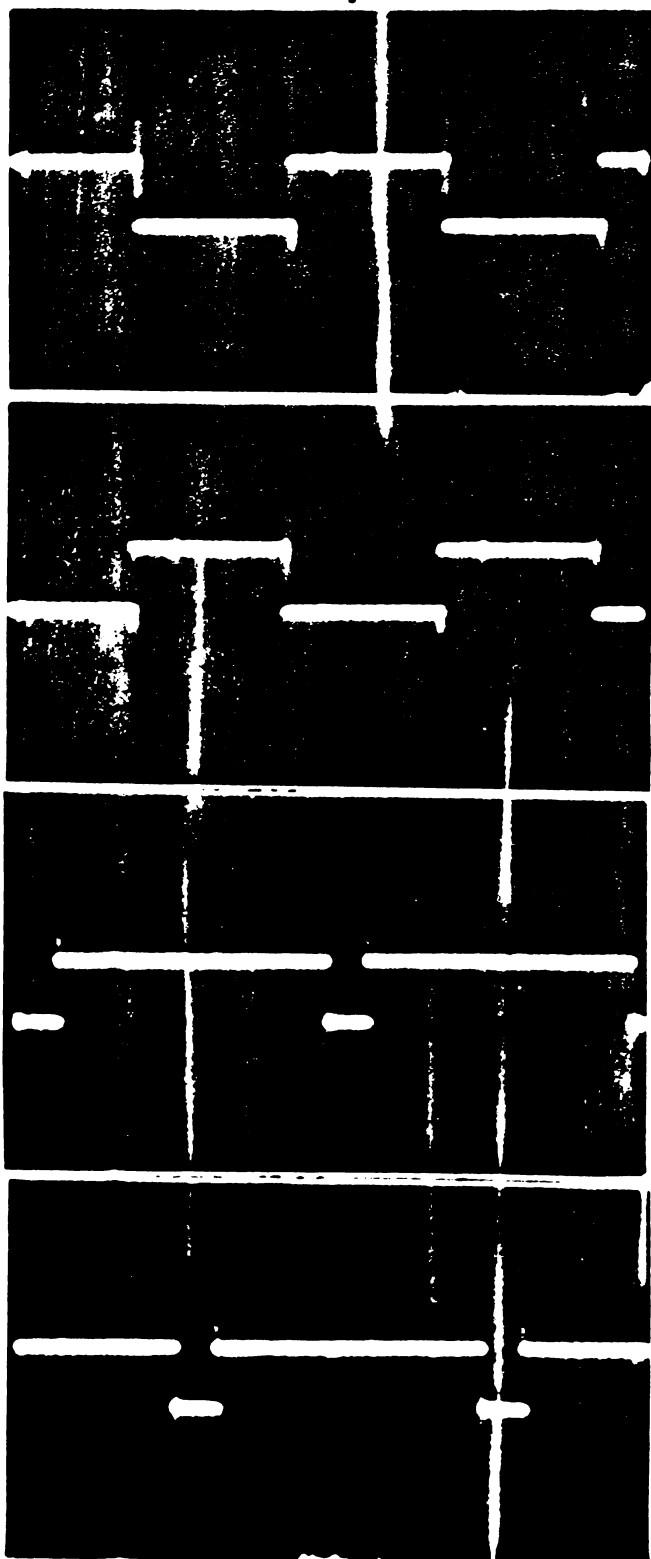


Fig. 3.60

3.57.

Figurile 3.57, 3.58 reprezintă semnale reținute cu un factor de umplere egal cu 50% decalate între ele cu o jumătate de perioadă. Sînt destinate modului simetric. Reținerea este variabilă între $0 - T/2$. Provin de la ieșirea circuitului de stabilire a duratei.

3.58.

3.59.

Figurile 3.59, 3.60 reprezintă semnale fără reținere cu un factor de umplere reglabil între 5% - 50% destinate excitației simetrice. Provin de la ieșirea circuitului de stabilire a reținerii.

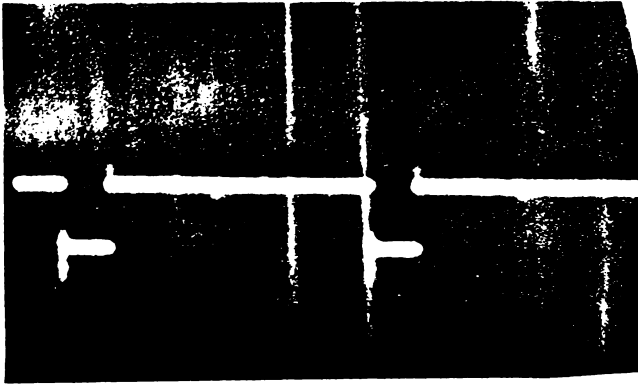


Fig. 3.61

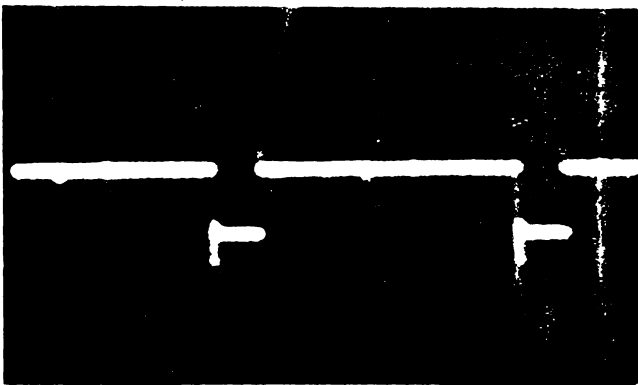


Fig. 3.62

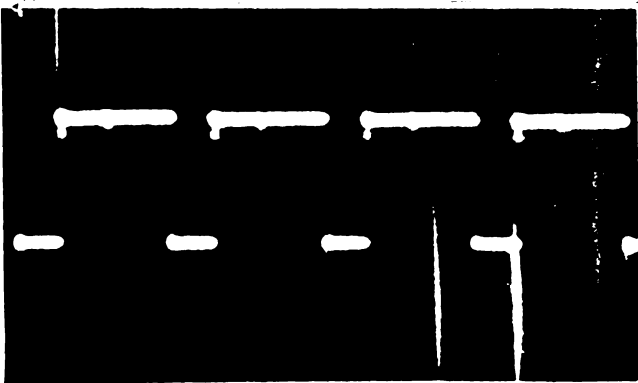


Fig. 3.63

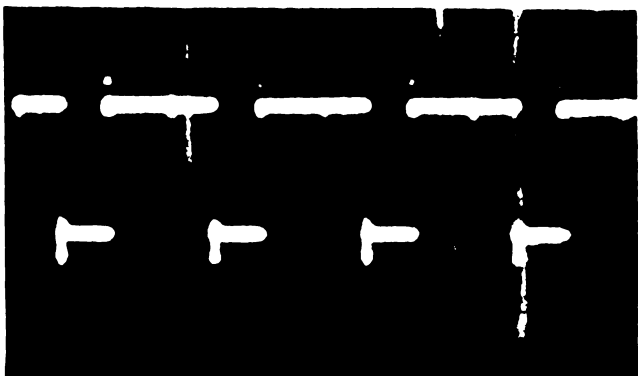


Fig. 3.64

Figurile 3.61, 3.62 reprezintă semnale cu reținere reglabilă între $0 - T/2$ și cu un factor de umplere reglabil între $5\% - 50\%$ destinate excitației simetrice. Provin de la ieșirea circuitului de stabilire a duratei.

Fig. 3.63 reprezintă semnale fără reținere cu factor de umplere reglabil între $5\% - 50\%$ destinate excitației asimetrice. Provin de la ieșirea circuitului de stabilire a reținerii.

Fig. 3.64 reprezintă semnale cu reținere reglabilă între $0 - T/2$ și cu un factor de umplere reglabil între $5\% - 50\%$ destinate excitației asimetrice. Provin de la ieșirea circuitului de stabilire a duratei.

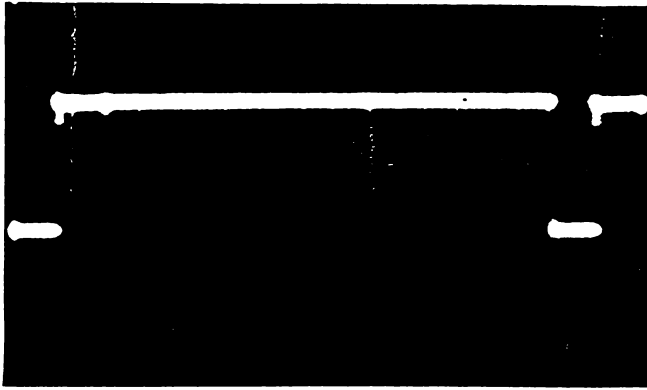


Fig. 3.65 reprezintă semnale cu o frecvență de repetiție submultiplu al frecvenței de oscilație a T_M și cu o durată variabilă între 5% - 50% din T , unde T = perioada de oscilație a T_M .

Fig. 3.65

Oscilatorul pilot propriu-zis se compune din două circuite basculante monostabile integrate (CBM) care se sincronizează reciproc prin intermediul tranzistorului T_1 (fig. 3.66).

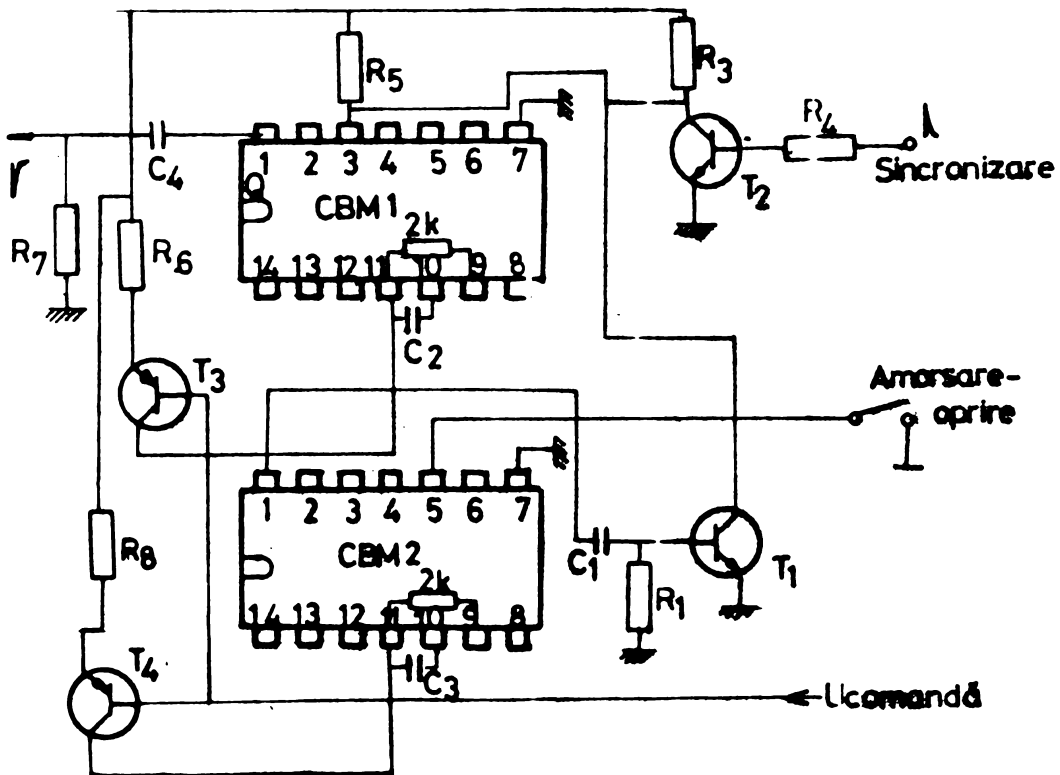


Fig. 3.66

Prin această schemă sînt îndeplinite condițiile de funcționare date în catalog pentru acest tip de circuite integrate. Cu ajutorul întrerupătorului I se amorsează sau se oprește funcționarea schemei, sincronizarea din exterior se realizează prin intermediul lui T_2 cu impulsuri pozitive. Intervalul de sincronizare începe după revenirea lui CBM_1 în poziție inițială și

înainte de a sosi un nou impuls de la CBM_2 . Pentru a evita apariția unor perturbații în sincronizare este necesar ca să se evite aplicarea impulsului fie funcțional, fie constructiv prin introducerea unui impuls de blocare a porții A_2 în intervalul de timp de revenire. Durata impulsului generat este dată de relația

$$t_{imp} = C R \ln 2 \quad (3.29)$$

Reglarea duratei se realizează cel mai simplu acționînd asupra lui R . Prin înlocuirea lui R cu un tranzistor pnp (fig. 3.66) se obține o rezistență echivalentă

$$R = K U_{cdă} \quad (3.30)$$

Același procedeu de reglare a duratei este aplicabil și în circuitele de stabilire a reținerii și duratei. Circuitele de reținere și durată sînt formate din CBM care sînt sincronizate succesiv de către oscilatorul pilot. Durata impulsurilor generate de aceste circuite se reglează prin procedeul arătat anterior generînd valori de la 0 la ...

$$t_{max} = 90\% \frac{T}{2} \quad (3.31)$$

unde T - perioada de repetiție.

Impulsurile celor două circuite decalate cu $T/2$ între ele, se aplică, împreună cu impulsurile de sincronizare de la oscilator circuitului de formare a impulsurilor de excitare (fig. 3.67).

La cele 10 ieșiri ale circuitului de formare a impulsului de excitare se pot obține cele 11 semnale prezentate în figurile 3.55 - 3.65. Impulsurile de sincronizare cu frecvența dublă față de frecvența de rezonanță se aplică la circuitul basculant bistabil (CBB_1) care face o divizare cu 2 obținîndu-se la ieșirea lui impulsurile din figura 3.55, 3.56 cu un factor de umplere riguros stabilit de 50%. Impulsurile de sincronizare aplicate lui CBB_2 prin intermediul unui circuit de menținere a aceleiași faze cu impulsurile din figurile 3.55, 3.56 format din circuitele SINU -3, SINU -4, se divid cu 2 formînd impulsurile din figurile 3.57, 3.58 de aceeași formă cu cele din figurile 3.55, 3.56 însă defazate față de acestea cu o durată cuprinsă între 0 - 90% $T/2$.

Formele de undă sînt prezentate în fig.

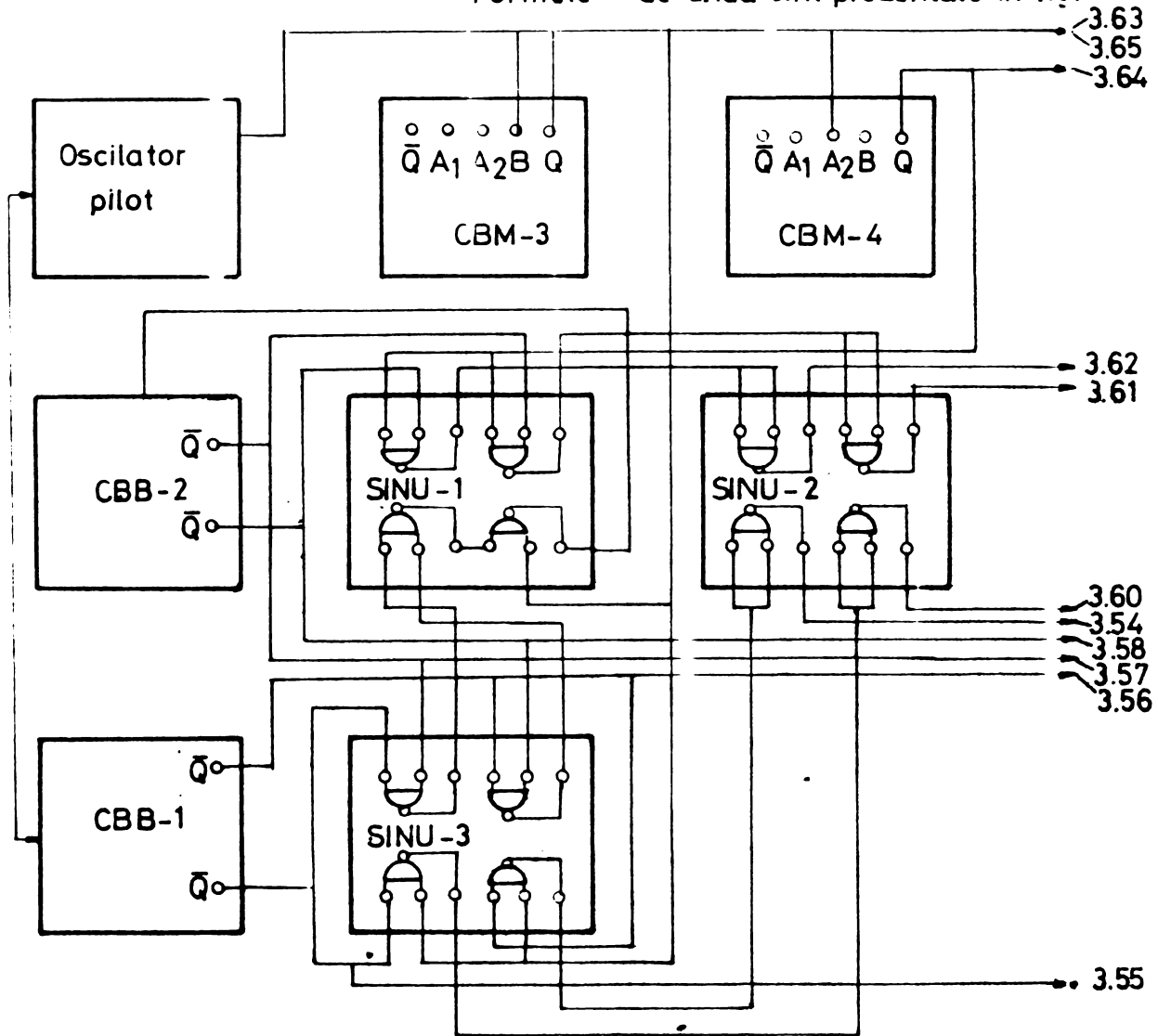


Fig. 3.67

Circuitele SINU - 1, SINU - 3 sînt destinate obținerii impulsurilor din figurile 3.59, 3.60 respectiv 3.61, 3.62 care sînt caracterizate de o durată cuprinsă între $0 - T/2$ și au o frecvență egală cu $0,5 f_p$ fiecare fiind sincronizat cu impulsurile din figurile 3.55, 3.56, 3.57 respectiv 3.58. Impulsurile obținute direct din circuitele de reținere și durată din figurile 3.63, 3.64, 3.65 sînt utilizate pentru excitări asimetrice.

Aceste 11 categorii de semnale pot fi utilizate atât pentru excitarea în scopuri tehnologice cât și în scopuri de cercetare. Există în schema excitatorului patru canale independente care permit excitarea unui TM complex, format din două piese magnetost rictive diferite, cu grupe de impulsur. defazate. Cu ajutorul acestor categorii de impulsuri s-au realizat experimentările pentru stabilirea regimului optim de lucru al excitatoarelor.

3.6 CERCETARI ASUPRA POSIBILITATII DE CONTROL A STARII OSCILATIE A BLOCULUI ULTRASONIC EXCITAT IN COMUTATIE

Energia din zona tehnologică este energia de ieșire a unei linii energetice caracterizată prin funcțiile de transfer ale blocurilor componente, precum și de relațiile acestora cu celelalte subsisteme ale instalației. Deoarece, energia din această zonă este condiționată de transformarea energiei în linia energetică, între mărimile intermediare și mărimile finale, există relații care pot fi utilizate atât pentru măsurări cât și pentru reglaje.

Controlul mărimilor în zona tehnologică are ca scop menținerea în parametrii a instalației, asigurarea unui randament ridicat, evitarea defectării și menținerea mărimilor din zona tehnologică în domeniul valorilor admisibile. Controlul unei mărimi presupune măsurare și reglare, operațiuni care se pot îndeplini manual sau automat.

3.6.1 Extragerea unor semnale utile care caracterizează starea de oscilație a blocului ultrasonic

Operațiunea de măsurare a mărimilor acustice în zona tehnologică se poate face direct sau indirect. Măsurarea directă este greu de realizat mai ales când zona tehnologică este de volum restrâns sau este închisă. Această operațiune presupune montarea unui traductor, fapt posibil numai în situațiile în care prezența lui nu perturbă desfășurarea procesului. Măsurarea indirectă presupune măsurarea unor mărimi ușor accesibile care se află într-o relație cunoscută cu mărimea a cărei valoare trebuie aflată. Ea se poate face în două moduri:

1. Măsurarea unor mărimi directe sau reflectate din linia energetică principală ;
2. Măsurarea mărimilor din radiația energetică a zonei tehnologice.

1. În ipoteza că funcțiile de transfer ale blocurilor liniei energetice principale sînt cunoscute se poate stabili valoarea unei mărimi de la ieșirea unui bloc funcțional prin măsurări asupra mărimilor de intrare. În realitate atât mărimile cât și funcțiile de transfer depind și de variabile aleatoare. Printr-o proiectare și o execuție îngrijită influența acestora poate fi dimi-

nuată. Măsurarea mărimilor mecanice are dezavantajul utilizării traductoarelor. În cazul unei instalații traductorul trebuie înglobat în construcția BU. În puține situații există posibilitatea de a se monta un traductor standardizat.

2. În cazul cînd traductorul nu poate fi plasat în zona tehnologică se pot găsi soluții pentru montarea acestuia în așa fel încît să capteze o parte din energia mecanică radiată. În orice formă de prelucrare o parte din energie se propagă în mediul înconjurător, în masa de sprijin, în piesa supusă prelucrării etc. Determinîndu-se funcția de transfer a traseului pînă la traductor se pot obține informații asupra mărimilor din zona tehnologică. Si în acest caz influența factorilor aleatori trebuie redusă corespunzător. Un aspect important al măsurării este faptul că aceasta se poate face în valori relative și nu absolute ceea ce simplifică foarte mult procesul obținerii datelor utile. În acest caz este necesar să se evidențieze dacă mărirea își schimbă valoarea, care sînt sensul și valoarea relativă ale acesteia. Aceste elemente sînt de cele mai multe ori suficiente pentru a asigura funcționarea unor părți componente din structura excitatorului.

Cea mai importantă mărime care trebuie evidențiată este legea de variație a oscilației mecanice din zona tehnologică sau cea a BU. În funcție de locul de unde se extrage mărirea care caracterizează oscilația aceasta poate avea diferite faze sau valori și poate reprezenta deplasarea, viteza sau accelerația relativă a unui punct, suprafețe sau volum, avînd în general o evoluție sinusoidală. Există și posibilitatea ca să obținem mărimi care să reprezinte integral mișcarea blocului ultrasonic. Pornind de la situația că economia nu produce traductori standardizați pentru vibrații ultrasonore care să poată fi încorporați în instalațiile tehnologice, de la faptul că în general este suficientă măsurarea relativă și din considerente de economicitate, s-au cercetat și experimentat următoarele trei modalități constructive de extragere a acestor mărimi și anume:

- utilizarea unui TM cuplat mecanic cu BU care prin efect magnetostrictiv invers induce într-o înfășurare o tensiune proporțională cu elongația oscilației

- utilizarea unor înfășurări speciale în care să se anuleze tensiunile induse de curentul de excitație și să se eviden-

țieze doar tensiunea "reflectată" provenită prin efectul magnetostrictiv invers.

- utilizarea mărimilor "refleccate" de către BU pe înfășurarea de excitație sau pe o alta separată, mărimi care evidențiază cel mai bine mișcarea integrală a TM, evoluția lor fiind reflectarea vitezei medii relative a maselor magnetizate. Toate aceste modalități de extragere a mărimilor sînt de tip indirect.

Evidențierea oscilației blocului ultrasonic cu ajutorul unor transductoare magnetostrictive cuplate mecanic

TM pot fi cuplate mecanic în orice zonă a BU. Modul de fixare diferă de la caz la caz, legătura mecanică trebuind să îndeplinească condițiile din subcapitolul 3.2.1, referitoare la zona de conexiune. Cuplarea unui TM duce la o serie de modificări în caracteristicile BU în sensul că prezența lui este echivalentă cu o masă pasivă și în funcție de dimensiunile sale poate duce la schimbarea zonei de rezonanță atît prin translarea ei în frecvență cît și prin modificarea valorii acesteia. O altă consecință este scăderea factorului de calitate și a randamentului BU deoarece apar pierderi suplimentare atît în TM cît și în zona de conexiune. Se recomandă montarea lui într-un ventru. Egalitatea frecvențelor de rezonanță a celor două TM nu este o condiție necesară, de cele mai multe ori fiind indicat ca să fie satisfăcută relația

$$f_1 \neq kf_2 \quad /3.3.1/$$

unde k = număr întreg, f_1 = frecvența TM, f_2 = frecvența BU



Fig. 3.68

Neîndeplinirea relației 3.3.1 modifică forma zonei de rezonanță prin apariția a două puncte de maximă amplitudine. În figura 3.68 și 3.36 sînt evidențiate 2 modalități de fixare a TM. Aceste procedee sînt mai puțin recomandabile în utilizarea pentru scopuri constructive, fiind indicată folosirea lui doar în scopuri de cercetare pentru a evidenția variația amplitudinii și fazei oscilației la schimbarea unor parametri ai excitației, încălzirii mecanice, temperaturii, premagnetizării etc

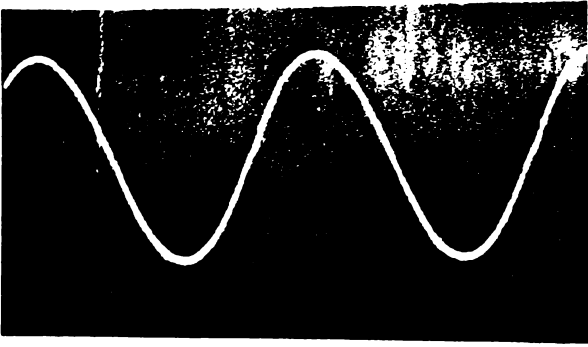


Fig. 3.69

În fig. 3.69 este prezentată forma semnalului cules de pe TM din fig. 3.68.

Cînd se înglobează constructiv într-un BU utilizat în scopuri tehnologice este necesară reabordarea întregului ansamblu pentru readucerea lui în zona de rezonanță inițiată fapt realizabil prin adăugarea sau eliminarea unor mase pasive.

O aplicație cu perspective o constituie un BU format din 2 TM cuplate mecanic și cu frecvențe relativ apropiate (fig. 3.70)

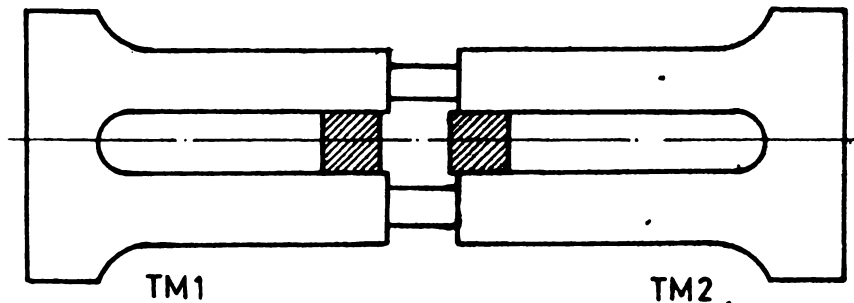


Fig. 3.70

Prin excitarea simultană a celor 2 ferite pe canale independente cu impulsuri decalate în timp (fază) se poate realiza în anumite limite controlul electric al frecvenței de rezonanță mecanice fapt deosebit de important pentru menținerea unui transfer optim către zona tehnologică în condițiile existenței unor factori perturbatori.

În utilizarea procedurii de folosire a TM pentru a evidenția starea de mișcare a BU nu trebuie să se neglijeze faptul că există o diferență de fază între oscilația prelevată și cea a BU, diferență care trebuie compensată cînd se urmărește introducerea mărimilor în sistemul RAØ.

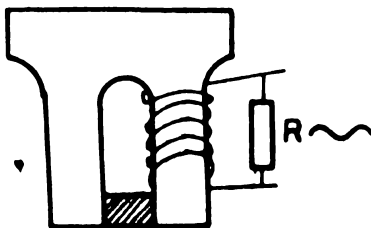


Fig. 3.71

Pentru a evita apariția unor oscilații electrice parazite datorită comutației este necesar ca la ieșirea înfășurării de măsurare să se monteze o rezistență de amortizare a acestora (fig. 3.71).

. / .

Utilizarea unor înfășurări speciale pentru a evidenția oscilația blocului ultrasonic

Dacă pe un TM excitat printr-o bobină L_1 se mai construiește o bobină secundară L_2 în înfășurarea respectivă se va induce o tensiune formată din 2 componente (fig. 3.72)

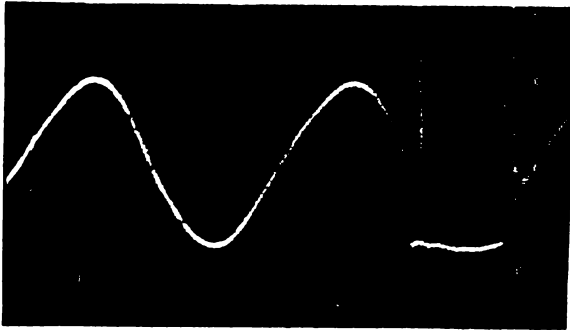


Fig. 3. 72

Această tensiune are expresia

$$u_{L_2}(t) = k_1 u_1(t) + k_2 u_2 \sin(\omega t + \varphi) \quad /3.32/$$

unde $u_{L_2}(t)$ = tensiunea de la bornele înfășurării secundare L_2
 $u_1(t)$ = tensiunea de excitație
 $u_2(t)$ = tensiunea sinusoidală proporțională cu oscilația feritei.

Prin bobinarea într-o anumită formă a unei înfășurări L_3 se poate obține la bornele ei o tensiune egală cu $k_1 u_1(t)$ dar de semn contrar. Insumând u_{L_2} cu u_{L_3} rezultă conform fig. 3.73:

$$u_{L_2} + u_{L_3} = k_1 u(t) + k_2 u_2 (\sin \omega t + \varphi) - k_1 u_1(t) = k_2 u_2 \sin(\omega t + \varphi)$$

Pentru a putea utiliza tensiunea obținută este necesară o amplificare și o filtrare ulterioară. De asemeni pe înfășurarea de ieșire este necesar să se monteze o rezistență de amortizare de ordinul $k\Omega$ - milor. Un dezavantaj important al acestui procedeu este acela că ajustarea raportului dintre numărul de spire al bobinelor L_2 și L_3 se face experimental. Se procedează astfel: se bobinează L_2 , 2 - 3 spire după care sub control cu osciloscopul se bobinează L_3 aproximativ 40 - 60 spire pînă în momentul în care suma celor 2 tensiuni devine sinusoidală. Sîrma din care se bobinează L_2 și L_3 este foarte subțire și nu ocupă un spațiu mare.

Diagramă simplificată a acestui procedeu este prezentată în figura 3.74.

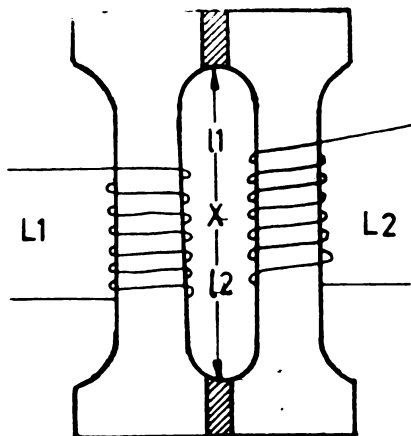


Fig. 3.74

S-a constatat experimental că dacă bobina de excitație și cea de măsură sînt situate pe brațe diferite ale aceluiași T₁ primul termen al relației 3.32 îndeplinește condiția

$$|u_1| \ll k_2 u_2 \sin(\omega t + \varphi)$$

și poate fi neglijat în raport cu cel de-al doilea. Această condiție este îndeplinită în mai mare măsură cînd bobina este situată pe mijlocul brațului.

Principalul dezavantaj al metodei este diminuarea cuplajului electromecanic prin faptul că excitarea se face pe un singur braț al feritei. Dacă puterile care ^{trebuie} obținute sînt mai mici sau egale cu 30% din P_{\max} metoda este recomandabilă pentru toate modurile de excitație.

Utilizarea mărimilor reflectate de B.U. pe înfășurarea de excitație sau pe o altă înfășurare separată

Oscilația mecanică a feritei prin efect magnetostrictiv invers induce o tensiune electromotoare care-și evidențiază prezența în mod diferit după cum stajul final este în stare de conducție sau blocat.



Fig. 3.75

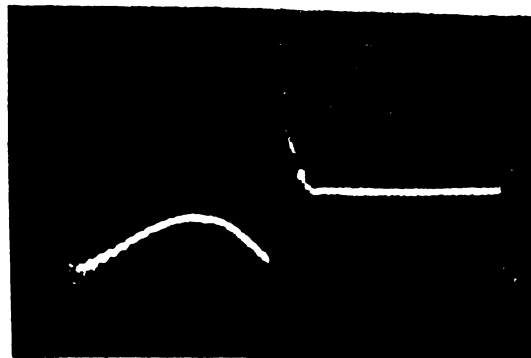


Fig. 3.76

În stare blocat se manifestă printr-o tensiune sinusoidală suprapusă tensiunii de alimentare (fig. 3.75) iar în stare de conducție printr-o modulație a curentului cu o formă sinusoidală (fig. 3.76). După cum s-a arătat în capitolul 3.4 faza corespun-

zatoare zonei de lucru din interiorul zonei de oscilație este cuprinsă într-un anumit domeniu. Faza zonei de lucru raportată la începutul intrării în conducție se situează uzual între $0 - 25\% T$ pentru prima semiperioadă și între $50\% - 75\% T$ pentru cealaltă. Pentru realizarea sincronizării excitatorului la o anumită fază și pentru evidențierea amplitudinii oscilației este suficient pentru majoritatea aplicațiilor ca din întreaga oscilație să se releve doar o porțiune cuprinsă între $- 10\%$ și $25\% T$.

Relevarea mărimilor necesare pentru modurile asimetrice de excitare cu un factor de umplere variabil între $5\% - 40\%$.

Durata de conducție fiind de maximum 40% , durata de blocare este de minimum 60% . Deoarece porțiunea de sinusoidă dintre $- 10\%$ și $25\% T$ este situată ca valoarea deasupra tensiunii de alimentare este necesar un circuit care să extragă acest segment, să-l transeze la un potențial de $- 5V$ și să-i confere amplitudinea necesară acționării corecte a sistemelor KAO și KAP. Diagramele de funcționare a schemei (figura 3.78) sînt prezentate în figura 3.79.

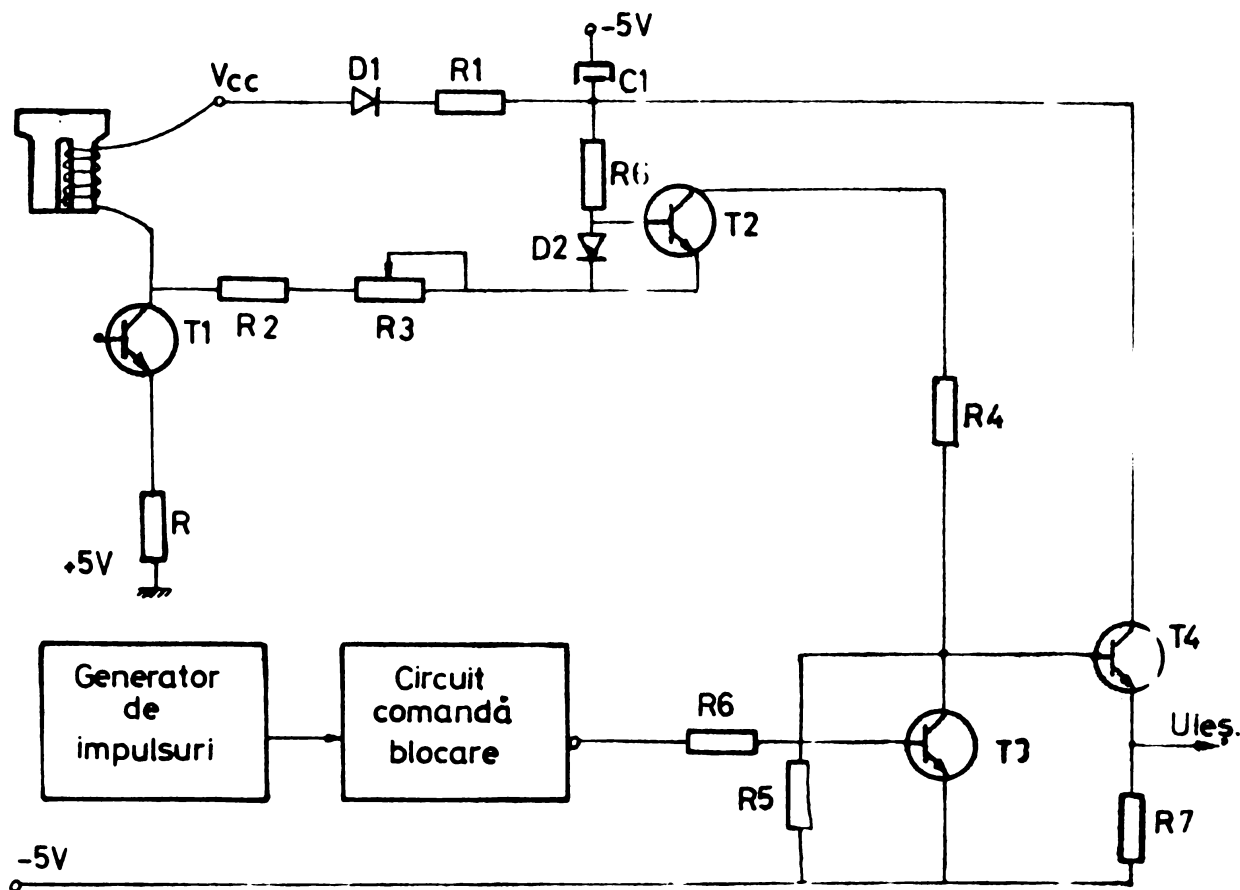


Fig.3.78.

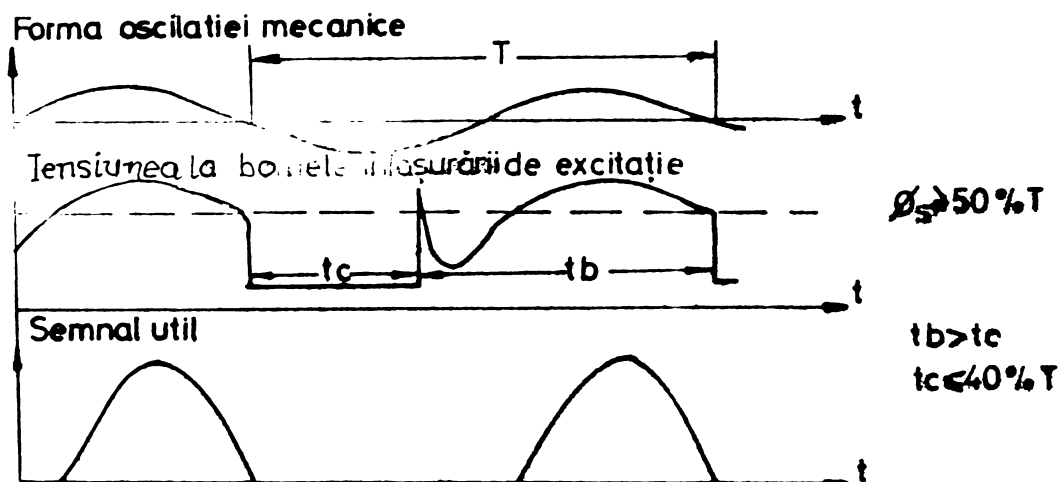


Fig. 3.79

La depășirea tensiunii V_{ce} cu valoarea de deschidere a lui T_2 acesta începe să conducă și prin rezistența R_4 injectează în baza lui T_4 un curent proporțional cu tensiunea din colectorul lui T_1 , tensiune care este repetată pe rezistența R_5 și amplificată de T_2 . Amplificarea lui T_2 se reglează cu R_3 . D_2 protejează joncțiunea BE a lui T_2 împotriva tensiunilor inverse. R_6 limitează valoarea maximă a curentului în baza lui T_2 iar R_2 limitează valoarea maximă a curentului de conducție a lui D_2 . Deoarece la ieșirea din conducție apare tensiunea de autoinducție care constituie un semnal perturbator în funcționarea schemei a fost necesar un circuit special pentru înlăturarea ei din semnalul util. Circuitul realizează blocarea lui T_4 prin intermediul lui T_3 pe durata cât acționează tensiunea de autoinducție. Această schemă funcțională nu este aplicabilă modului simetric deoarece supra-tensiunea care apare în timpul blocării nu se mai situează la nivelul V_{cc} ci la un nivel superior, acestuia.

Extragerea semnalului util în cazul excitației simetrice cu un factor de umplere variabil între 5% - 50% pe alternanță, respectiv 10% - 100% global

În acest mod de excitație semnalul util se extrage pe timpul conducției din modulația curentului. În figura 3.80 a - c sînt prezentate principalele modalități constructive ale schemelor de obținere a semnalului util. În cazul excitației simetrice (capitolul 3.4) excitarea fiecărei alternanțe se face separat cu câte un etaj final independent.

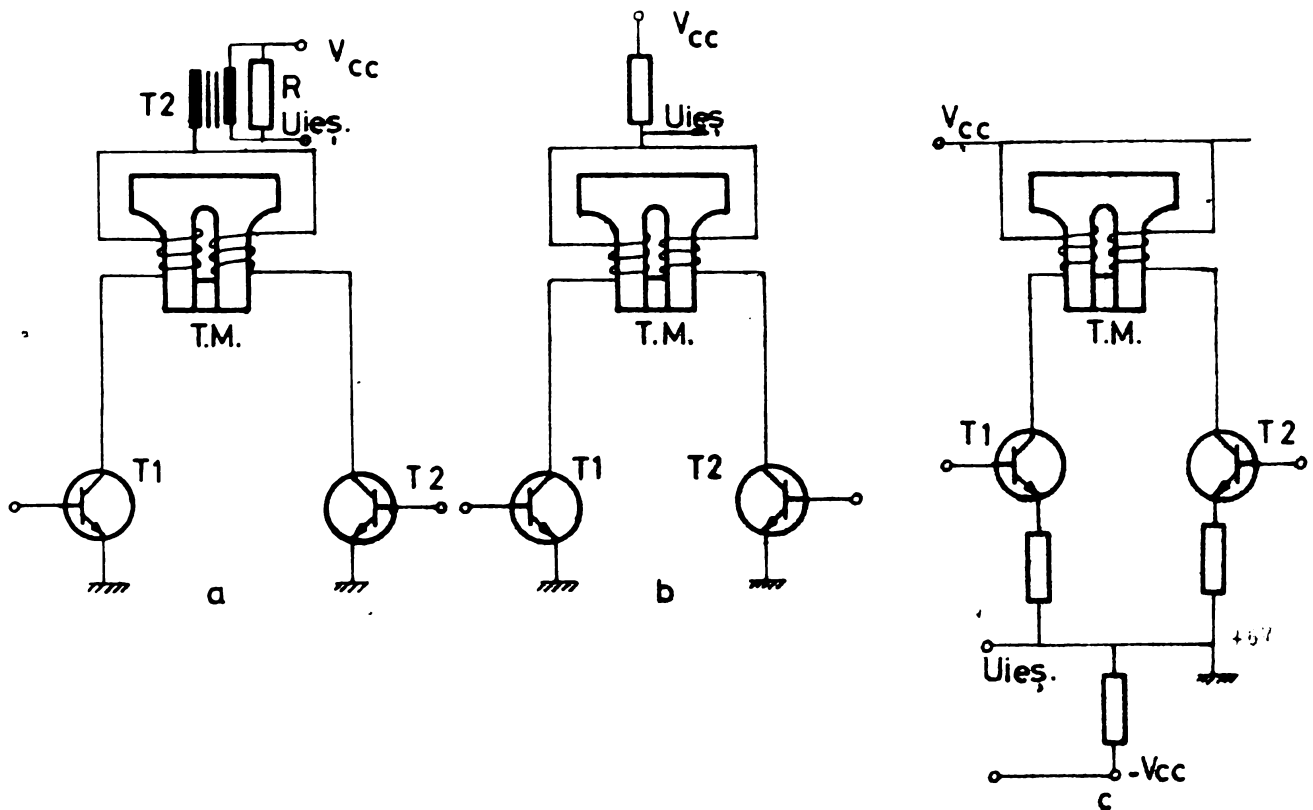


Fig. 3.80

În procedeul din figura 3.80 a se utilizează un transformator de curent T_r , ridicător cu un raport de transformare minim $1/100$ realizat pe un miez de ferită toroidal. Puterea transformatorului este doar de ordinul 10^{-2} waților. Tensiunea de ieșire are o formă complexă avînd însă un caracter sinusoidal în sectoarele în care se realizează controlul în amplitudine și fază. Pentru utilizarea ei în scheme RA ϕ și RAP este necesară prelucrarea prin înlăturarea ca și în cazul precedent a porțiunilor inutile. Pentru a utiliza transformatorul la diferite game de curenți și la diferite tipuri de BU este necesară realizarea de prize în secundar. Avantajul principal al acestui procedeu constă în aceea că tensiunea utilă poate fi raportată la orice potențial datorită separării galvanice a primarului de secundar.

Experimental s-a demonstrat că nu este recomandabilă utilizarea acestui procedeu în circuite cu un factor de calitate mai mic de 100 deoarece modularea sinusoidală a curentului nu are amplitudine suficientă. Procedeul este recomandat pentru o sarcină relativ constantă. Procedecele din fig. 3.80 b și c sînt asemănătoare între ele fiind valabile pentru toate tipurile de excitație cu singura deosebire că procedeul din "c" este mai avantajos prin potențialul de referință de +5 V.

In fotografiile din anexa 1 sînt prezentate semnale obținute prin ambele procedee. In ambele cazuri semnalul trebuie prelucrat pentru extragerea porțiunii utile. In fig. 3.81 este prezentată o variantă de schemă de prelucrare.

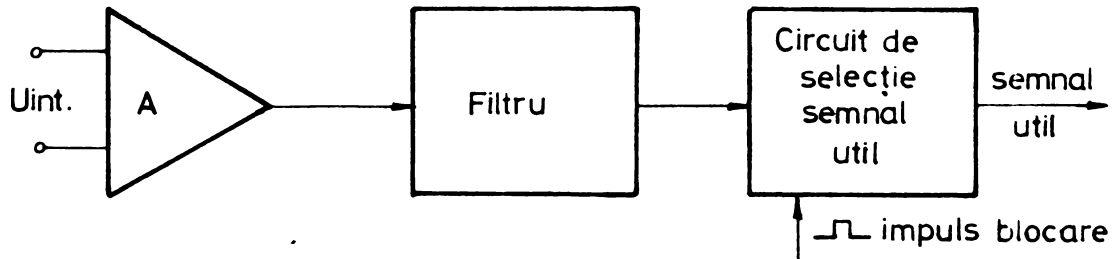


Fig. 3.81

Această schemă de prelucrare este valabilă pentru ambele procedee cu deosebirea că pentru cazul "b" este necesar un circuit de transare a potențialului de referință. Semnalul util de ordinul sutelor de mV trebuie amplificat și filtrat. Amplificarea se poate realiza cu amplificatoare operaționale integrate. Pentru selecția semnalului util este necesar un circuit poartă comandat cu impulsuri dreptunghiulare sincrone cu oscilația TM.

3.6.2 Reglarea automată a frecvenței și reglarea automată a fazei

După cum s-a arătat în capitolele anterioare zona de rezonanță corespunde unui domeniu de frecvență diferit de la un BU la altul. Zona de lucru în care pot fi îndeplinite și condițiile de optim este mai îngustă. În timpul funcționării domeniul de frecvență își modifică valoarea și poziția datorită unor factori perturbatori sau funcționali dintre care mai importanți sînt:

- variația sarcinii mecanice;
- variația parametrilor excitației și tensiunii de alimentare, a premagnetizării;
- temperatura;

la care se adaugă și instabilitatea generatorului.

Alegerea unui punct sau a unui subdomeniu de funcționare se finalizează în menținerea unei faze constante între excitație și răspuns. Parcurgerea zonei de rezonanță se traduce prin parcurgerea unui domeniu de fază, a cărui valoare este cuprinsă între 30% - 50% T pentru zona de rezonanță și între 15% - 25% pentru zona de lucru, în funcție de tipul excitației, motiv pentru care noțiunea de reglare automată a fazei este mai potrivită decît cea de reglare automată a frecvenței, noțiune care își are sensul doar atunci cînd se urmărește aducerea frecvenței de excitație în domeniul de rezonanță. Limitele domeniilor de fază sînt stabilite pt.

RAF presupune introducerea automată în zona de lucru, respectiv în zona de acțiune a sistemului RAF și se poate realiza prin baleiaj de frecvență pornind de la frecvența mică la frecvență mare și prin oprirea lui în zona de rezonanță. Un astfel de sistem nu prezintă o utilitate practică deosebită, operațiunea de acord inițial fiind simplă de realizat de către operator.

Schema de RAF este realizată la toate tipurile de excitatoare conform schemei structurale din fig. 3.82.

Semnalul util extras prin una din modalitățile prezentate anterior reprezintă un segment de sinusoidă (fig. 3.83) "2", porțiunea hașurată, pentru fiecare alternanță. Condiția de sincronizare a oscilatorului pilot este

$$T_{osc} > T_{sincr}$$

/3.33/

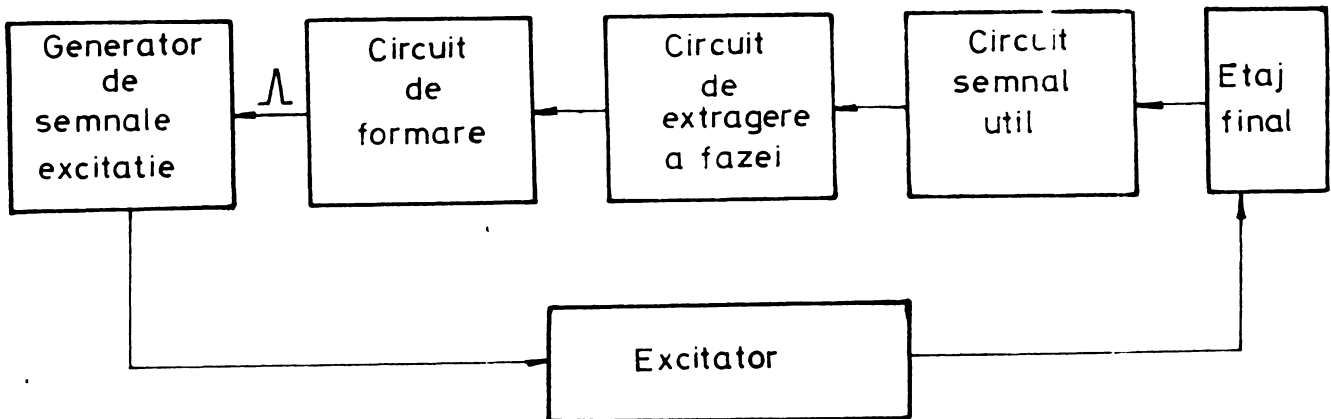


Fig. 3.82

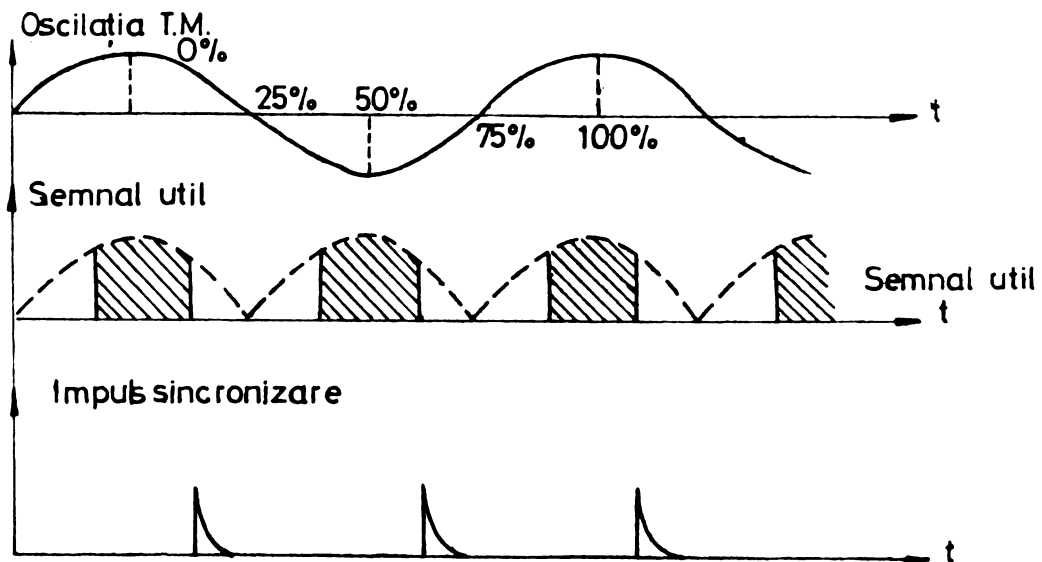


Fig. 3.83

condiție care se realizează prin aducerea manuală sau automată a frecvenței oscilatorului în apropierea punctului de rezonanță dorit. RAØ are un caracter discret, acțiunea făcându-se prin impulsuri de sincronizare.

Pentru extragerea impulsului de sincronizare la o anumită fază a oscilației s-au evidențiat 3 procedee.

1. Reținere în timp față de momentul 0 al oscilației.

Schema de principiu a circuitului este prezentată în fig. 3.84.

. / .

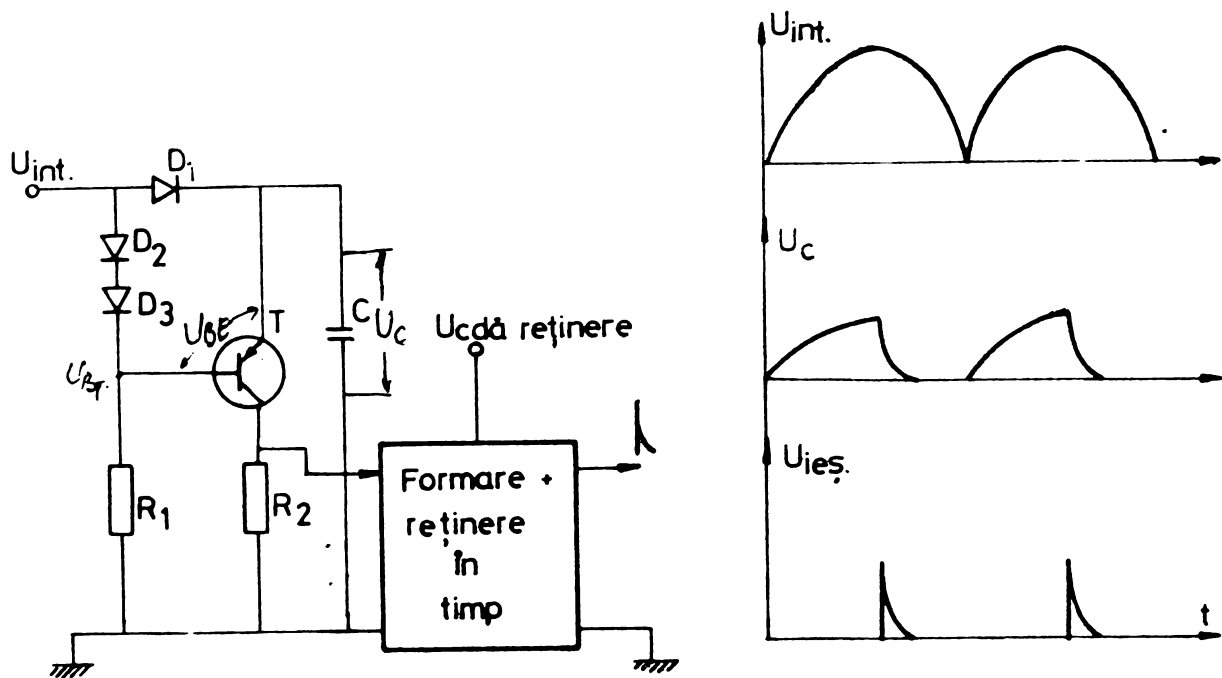


Fig. 3.84

Acest circuit are proprietatea de a marca trecerea prin maxim a tensiunii prin declanșarea unui impuls în momentul respectiv. Presupunem că $U_{int} = 0$; $U_C = 0$. Atîta timp cît tensiunea U_{int} este în creștere, T este blocat, iar U_C o urmărește.

$$U_D = U_{int} - U_D ; U_{E_T} = U_{int} - 2U_D ; U_{BE} = U_C - U_D = U_D \quad /3.34/$$

U_{BE} este insuficientă pentru a deschide tranzistorul. Cînd tensiunea începe să scadă U_C are tendința de a rămîne la o valoare constantă deoarece D_1 se blochează iar T_1 începe să conducă din momentul în care $U_{BE} > U_D$, moment în care pe rezistorul R_2 apare o creștere de tensiune corespunzătoare maximului tensiunii de intrare. Valoarea lui $U_C \approx U_{CEsat}$, după care schema este pregătită pentru o nouă fază de lucru. Reținerea se face cu un circuit basculant monostabil integrat a cărei durată se reglează prin schimbarea valorii unei rezistențe sau a unei tensiuni. În acest din urmă caz se oferă posibilitatea stabilirii unei anumite legi de variație a fazei, atunci cînd urmărim reglarea puterii prin schimbarea fazei, sau cînd procesul tehnologic presupune un bde-faj de fază, respectiv în frecvență, între anumite limite.

2. Reținere în timp față de momentul $25\% \left(\frac{\pi}{2}\right)$ al oscilației

Este cel mai simplu procedeu de a obține o fază de referință, fiind suficientă redresarea tensiunii și amplificarea ei pînă devine dreptunghiulară, fronturile posterioare folosindu-se pentru formarea impulsurilor de sincronizare (fig. 3.85).

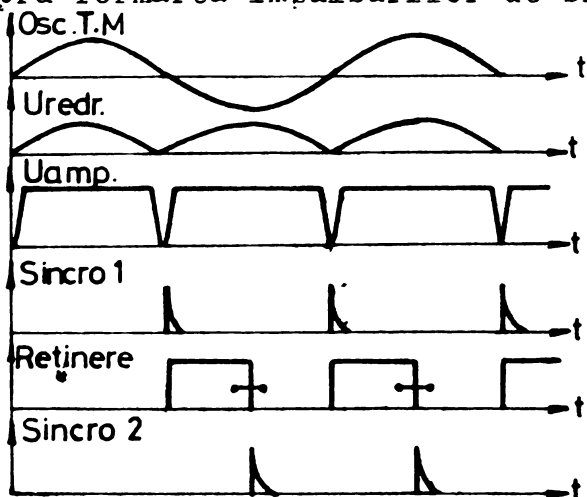


Fig. 3.85

Acest procedeu este indicat pentru un factor de umplere între 5-25%. Pentru un factor de umplere mai mare este necesară reținerea în timp $75\% T + \Delta t$ unde $\Delta t = 0 - 5\%T$. În cazul cînd sistemul funcționează cu modul simetric, pentru ultimul caz, sînt necesare două circuite de reținere fiecare comandat pe cîte o alternanță a oscilației.

3. Compararea semnalului cu o tensiune proporțională cu amplitudinea

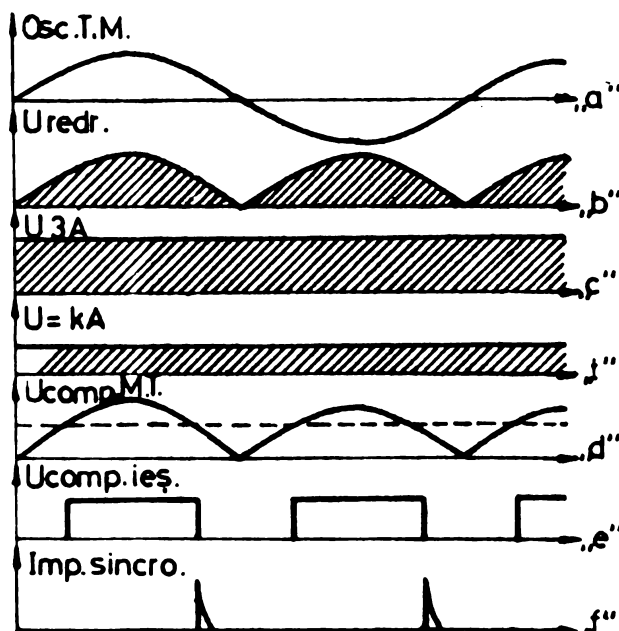


Fig. 3.86

Pentru realizarea acestui procedeu se obține o tensiune continuă egală cu amplitudinea, A , a semnalului (fig. 3.86 - "c"). Schema care realizează această funcție este prezentată în fig. 3.87. Această tensiune se obține în emitorul lui T_1 pe condensatorul C_1 . Constanta de timp a circuitului este $R_{echiv} C_1 = 3 - 5 T/2$.

O fracțiune din această tensiune $U = kA$, $k \leq 1$, aleasă prin potențiometrul R_1 , se aplică în baza lui T_3 care funcționează ca un comparator. Compararea se realizează cu U_{int} aplicată prin repetorul pe emitor T_2 , R_2 .

Cînd această tensiune depășește valoarea tensiunii U_{R1} pe rezistența R_3 apare un impuls pozitiv care este limitat superior și

amplificat de circuitul T_4 , D_2 , R_5 .

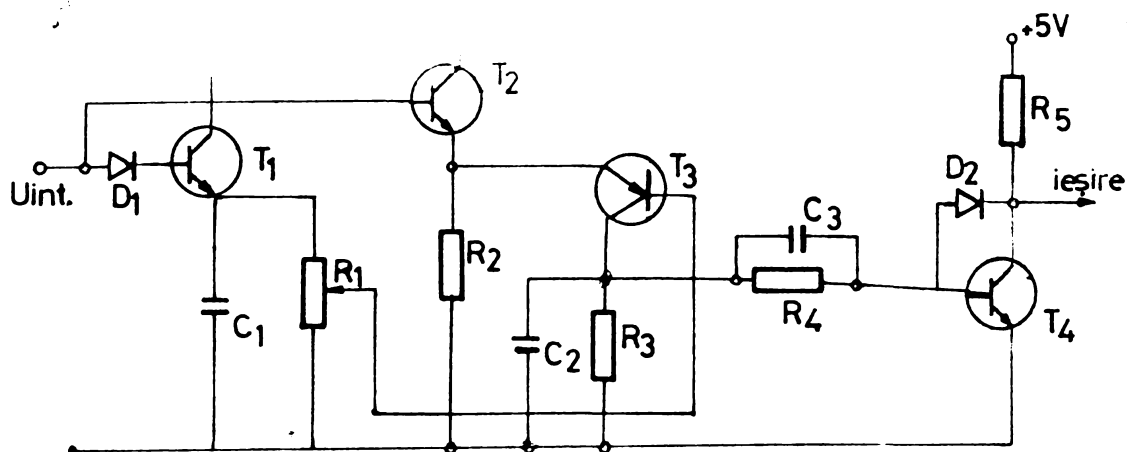


Fig. 3.87

Frontul posterior al impulsului declanșează un CBM. Impulsul astfel reținut este prelucrat și aplicat ca impuls de sincronizare oscilatorului pilot.

Pentru anumite cazuri când factorul de umplere global este $< 100\%$ sincronizarea semnalului de comandă a excitatorului este recomandabil să se facă pe ambele fronturi.

Criteriul după care se face sincronizarea pe frontul posterior al impulsului de excitație este acela al curentului minim prin bobina de excitație, fapt deosebit de important pentru blocarea etajului final, avînd drept consecință reducerea sau chiar dispariția autoinducției. Procedul este aplicabil tuturor modurilor de excitație în situația când se urmărește foarte riguros menținerea unui anumit punct de funcționare în fază, sau când se urmărește asigurarea amplitudinii maxime a oscilației LM, caz în care ieșirea din conducție este recomandabil să se facă la o fază de 50% indiferent de durata de conducție.

Folosirea schemelor RAØ în cazul excitației simetrice cu un factor de umplere de 100% a evidențiat în mod experimental inegalitatea funcționării feritelor magnetostrictive la excitația directă și inversă fapt concretizat în final la o repartiție diferită de 50% a timpilor de conducție între cele două alternante, cu atît mai evident cu cît energia de excitație este de valori mai mari. Acest fapt este evident chiar și în cazul excitației feritei în afara rezonanței. În fig. 3.88 a, b se evidențiază funcționarea

unei scheme RAØ de tipul "3". Se poate observa că faza este menținută constantă la o variație mare a tensiunii de alimentare.

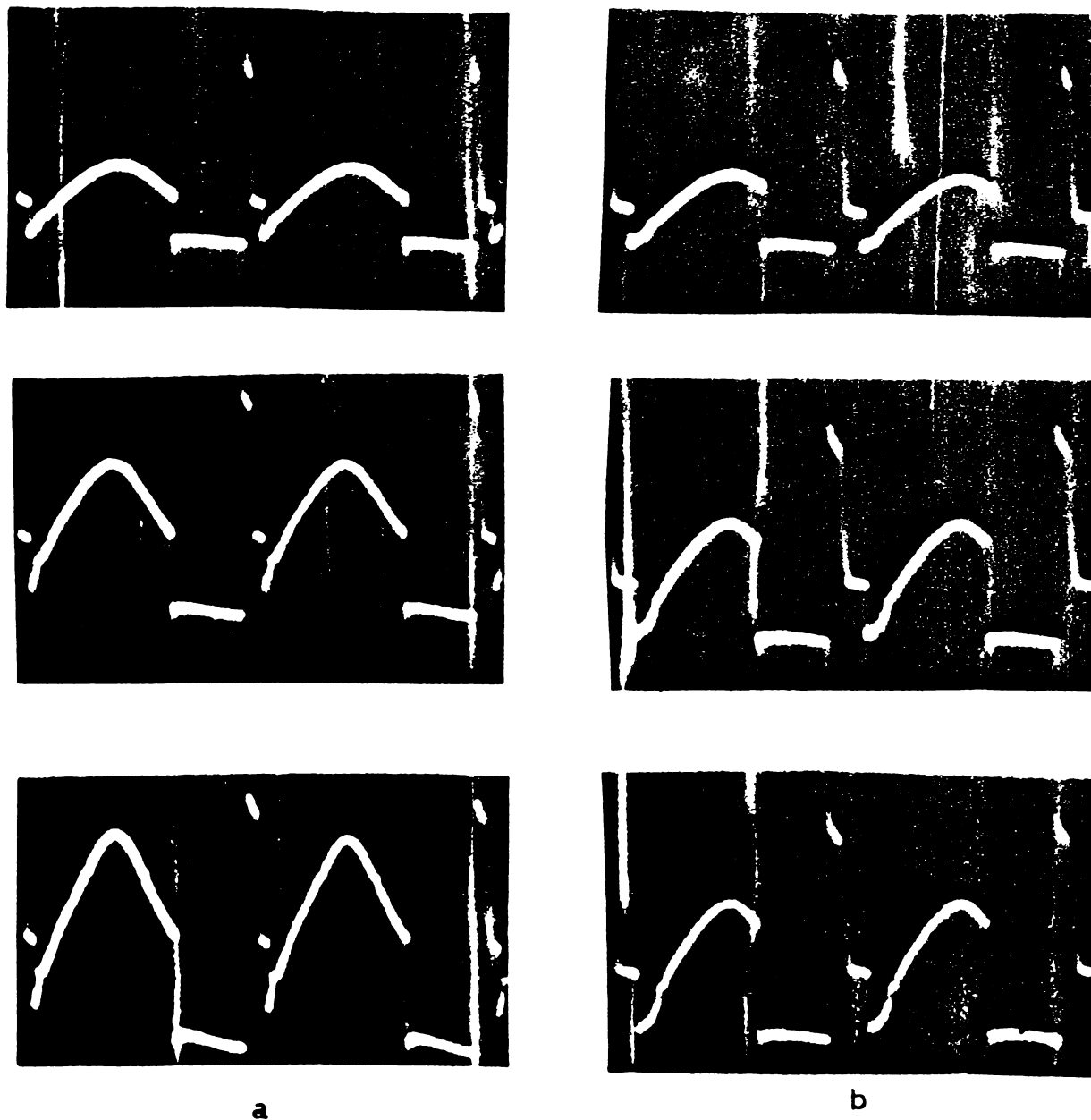


Fig. 3.88

Modul de excitație este asimetric. S-au ales două faze diferite (fig. 3.88 a respectiv b) și aceeași durată a impulsului de excitație. Saltul de tensiune de la o măsurare la alta este aproximativ 30%. În lipsa schemei RAØ variațiile de fază sînt inacceptabil de mari avînd drept consecință schimbarea frecvenței de oscilație a TM.

Deoarece faza influențează puternic transferul energetic între excitator și BU, se poate afirma în concluzie că orice generator de ultrasunete trebuie echipat cu sistem RA ϕ . Schemele propuse se caracterizează prin simplitate, eficiență și siguranță acționând asupra fiecărei oscilații sau alternanțe în parte. Eficacitatea lui deosebită este determinată de faptul că însuși BU este sistemul oscilant care prin schema RA ϕ sincronizează oscilatorul pilot de impulsuri de excitație asigurându-se în acest mod pompajul energetic în momente riguros stabilite.

O altă consecință a sistemelor RA ϕ este creșterea fiabilității TM cu ferită deoarece se evită funcționarea în mod necontrolat la anumite frecvențe la care oscilația "în gol" ar putea provoca spargerea lor.

Prin sistemul RA ϕ se poate asigura nu numai menținerea constantă a fazei de excitație dar i se poate impune acestuia și o anumită lege de variație, din considerente tehnologice sau de altă natură, având drept consecință un baleiaj de frecvență în interiorul zonei de rezonanță.

3.6.3. Reglarea automată a puterii (RAP)

Schema de RAP urmărește menținerea constantă a amplitudinii oscilației sau schimbarea valorii ei după o anumită lege, indiferent de schimbarea unor factori funcționali sau perturbatori și anume:

- variația sarcinii de la 0 la valoarea maximă;
- variația temperaturii;
- variația tensiunii de alimentare.

S-au proiectat și verificat experimental mai multe procedee RAP, alegerea unuia sau altuia fiind determinată de procedeul tehnologic sau de tipul excitatorului. Acest sistem asigură și limitarea oscilației maxime a BU fără sarcină, pentru a evita distrugerea acestuia.

1. RAP prin schimbarea fazei de excitație

Acest procedeu se bazează pe observația că amplitudinea oscilației pentru un impuls de excitație cu durată constantă variază puternic cu schimbarea fazei acestuia, fapt prezentat în subcapitolul 3.3.2.

Pentru cazurile în care schimbarea punctului de funcționare în frecvență nu prezintă importanță acest procedeu poate asigura o variație a puterii de cca. 2,5 ori. În fig. 3.89 este prezentată o schemă de principiu a acestui procedeu și formele de undă caracteristice.

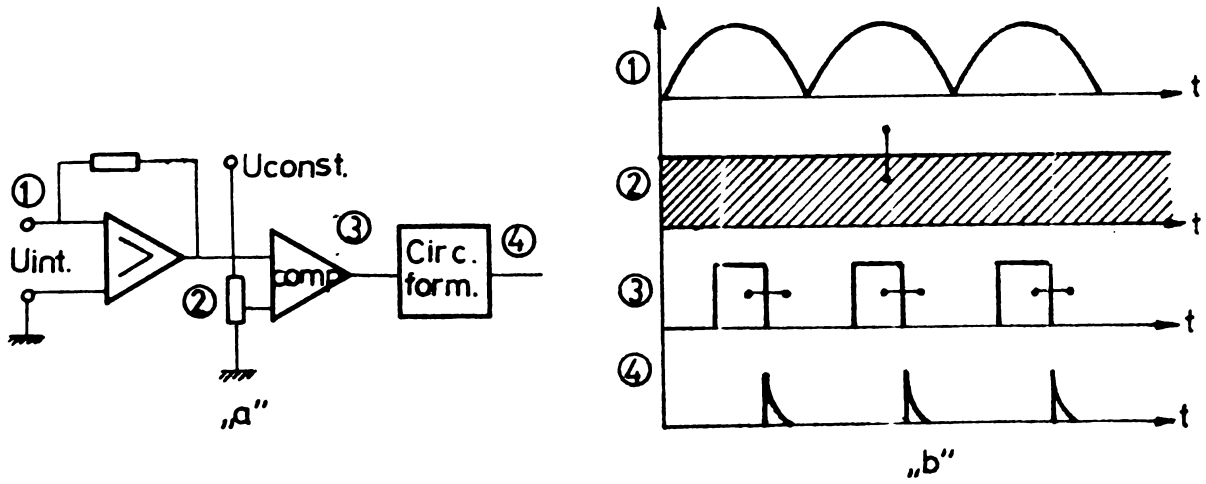


Fig. 3.89

Tensiunea utilă preluată prin procedeele relatate în subcapitolul 3.61 este amplificată corespunzător și introdusă împreună cu o tensiune continuă într-un comparator de tensiune. Orice scădere a amplitudinii tensiunii se traduce prin micșorarea duratei impulsului de ieșire a comparatorului al cărui front posterior sincronizează la o fază mai mică oscilatorului pilot ducând la compensarea scăderii acesteia prin creșterea energiei absorbite.

2. RAP prin schimbarea duratei impulsului de excitație

Dacă faza unei excitații se menține constantă amplitudinea oscilației crește sau scade proporțional cu durata. Pentru lucrul fără sarcină mecanică se alege o anumită valoare a duratei pentru a evita distrugerea feritei. Punctul static de funcționare al sistemului RAP se alege în funcție de modul în care va evolua tendința de schimbare a amplitudinii pentru a asigura o gamă dinamică cât mai mare.

În fig. 3.90 se prezintă o variantă de schemă RAP.

Pe $C_1 R_1$ se formează o tensiune proporțională cu amplitudinea semnalului util din care se preia o fracțiune. Aceasta la rândul ei este amplificată prin T_2 și aplicată ca tensiune de comandă circuitelor de reținere și durată, modificând astfel și durata impulsurilor generate în sensul compensării variației amplitudinii.

R_2 este destinat reglajului sensibilității RAP iar R_1 pentru a schimba valoarea amplitudinii.

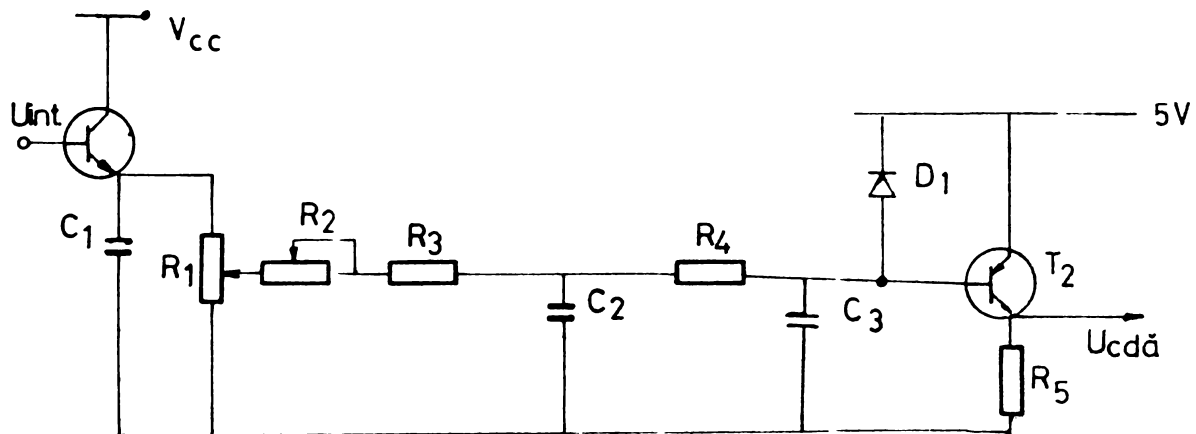


Fig. 3.90

R_3 , R_4 , C_3 este un filtru de stabilizare, T_2 este un amplificator iar D_1 protejează joncțiunea BE alui T_2 împotriva tensiunilor inverse. Aplicarea acestui sistem este evidențiată în fig. 3.91.

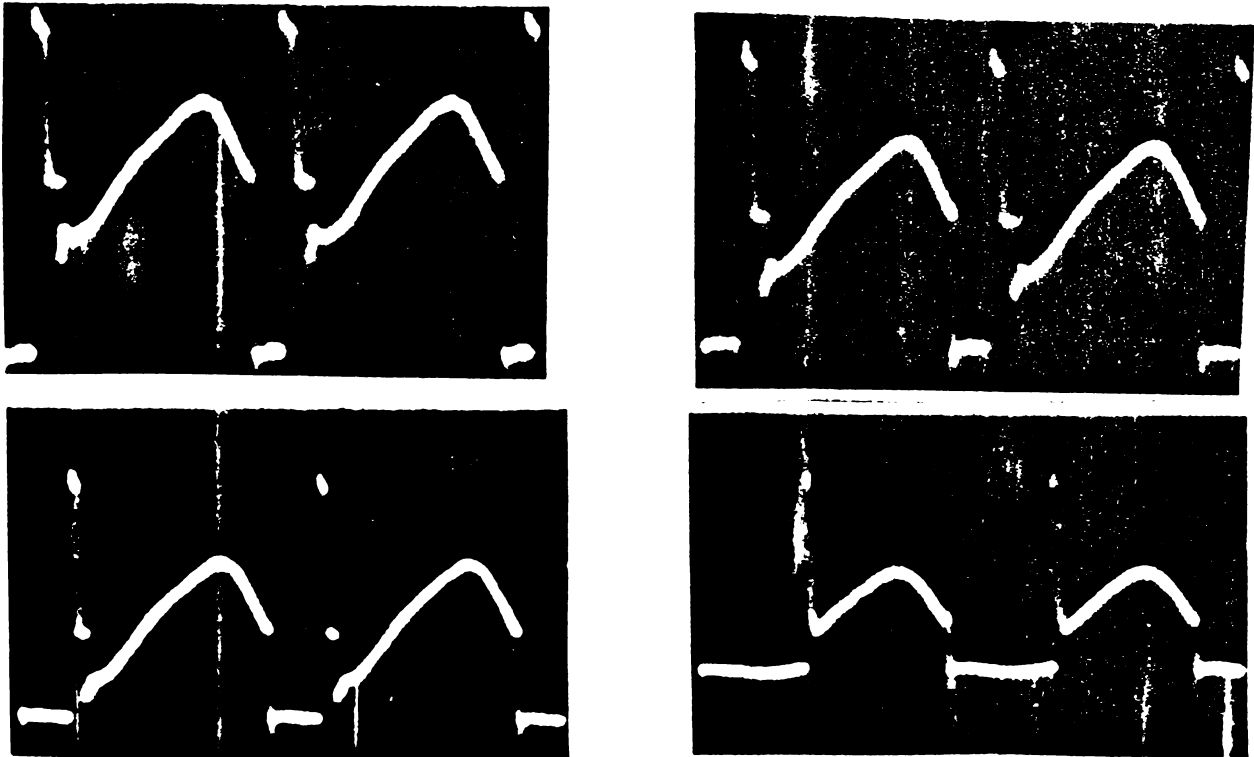


Fig. 3.91

În cele patru fotografii se poate remarca menținerea aproximativ constantă a amplitudinii oscilației la o variație a tensiunii de alimentare de la 40 la 5 V. Odată cu scăderea amplitudinii crește durata impulsului de excitație. Această schemă este aplicabilă tuturor modurilor de excitație. Printr-o alegere corespunzătoare a grupului $(C_1 R_1)$ se poate asigura controlul repartiției pute-

rii pentru fiecare semiperioadă astfel că în cazul excitației simetrice se elimină inegalitățile alternanțelor. Sistemul realizează reglarea puterii, în anumite limite, și în cazul alimentării etajului final cu tensiune filtrată necorespunzătoare. Pentru rezultate mai bune tranzistorul T_1 , poate fi cu efect de câmp iar în locul lui T_2 se poate monta un amplificator operațional cu o reacție negativă dimensionată pentru eliminarea autooscilațiilor (fig. 3.92)

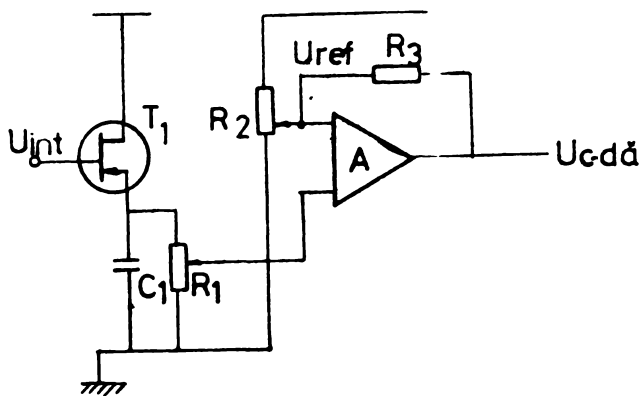


Fig. 3.92

3. RAP cu tiristoare

Un alt procedeu constă în utilizarea reglajului prin modificarea corespunzătoare a tensiunii de alimentare a etajului final, fapt realizabil cu ajutorul punților comandate cu tiristoare. Schemele pentru comanda tiristoarelor sînt acționate de o tensiune proporțională cu amplitudinea oscilației și sînt realizate cu tranzistoare sau circuite integrate. În fig. 3.93 se prezintă o variantă de schemă structurală.

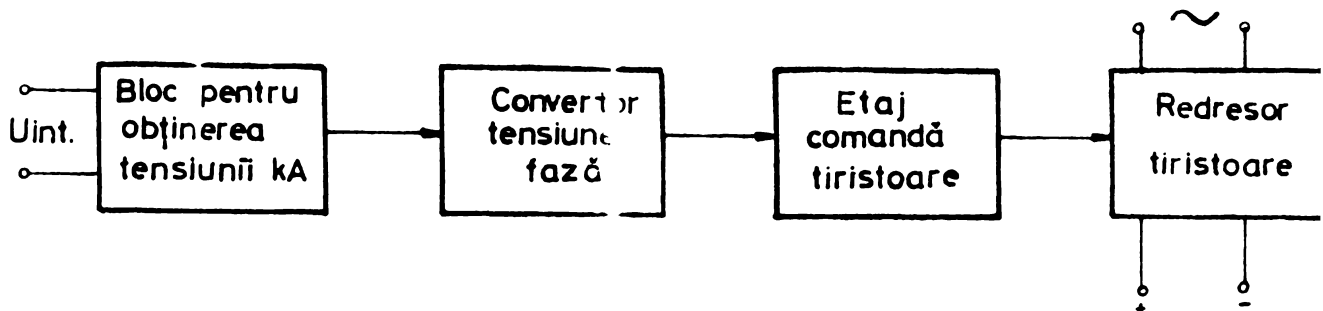


Fig. 3.93

Este de remarcă faptul că acest procedeu asigură o viteză de reacție comparabilă cu frecvența rețelei de aproximativ

500 - 1000 ori mai mică decât frecvența de rezonanță, spre deosebire de schemele anterioare care pot controla amplitudinea fiecărei oscilații. RAR cu triode se poate folosi simultan cu una din schemele anterioare asigurându-se în acest mod o gamă foarte largă de reglare a puterii.

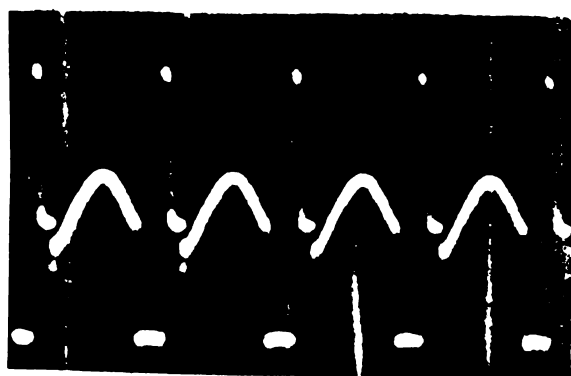
4. RAR cu divizarea frecvenței impulsurilor de excitație

Este o schemă simplă și eficace aplicabilă tuturor procedurilor de excitație și constă în divizarea frecvenței de oscilație (fig. 3.94).

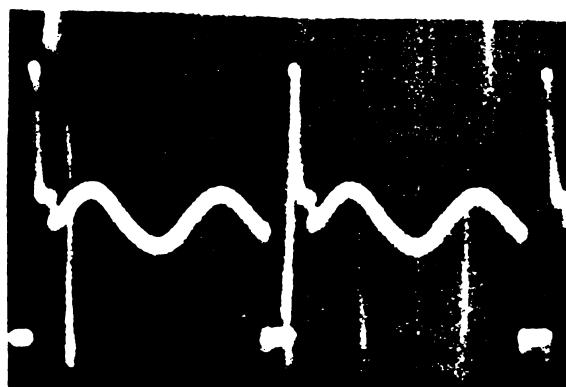


Fig. 3.94

Acest sistem asigură o dinamică foarte mare a puterii, singurul dezavantaj fiind acela că la puteri apropiate de valoarea maximă apar ușoare oscilații, fiind însă ne semnificative în majoritatea aplicațiilor tehnologice. În fig. 3.95 se prezintă modul în care acționează divizarea frecvenței de oscilație asupra amplitudinii acesteia.



a



b

Fig. 3.95 a și b

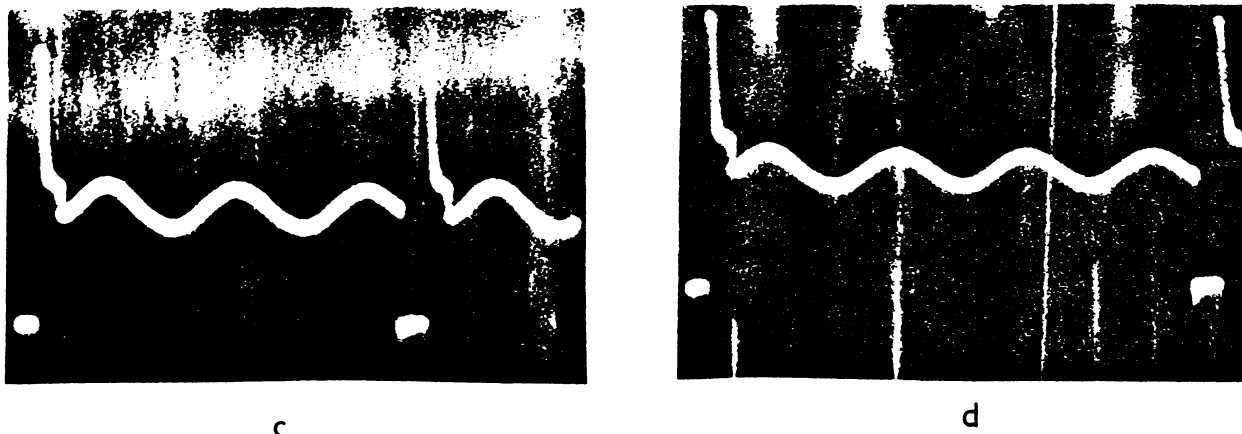


Fig. 3.95 c și d

Prezența schemelor RAP în structura generatoarelor, pe lângă posibilitățile de menținere a unor parametri tehnologici în limitele de variație impuse de procesul în cauză, este modalitatea cea mai importantă de creștere a fiabilității BU evitându-se spargerea feritelor prin efect magnetostrictiv intens.

Majoritatea schemelor propuse au un timp de reacție foarte mic, comparabil cu perioada de oscilație.

Combinarea unor sisteme RAP cu acțiune rapidă împreună cu cele mai lente, cu tiristoare, asigură atât o gamă foarte largă de puteri cât și o fiabilitate crescută a BU.

3.7 Recuperarea energiei de autoinducție din câmpul magnetic al transductorului magnetostrictiv și utilizarea ei pentru excitarea lui

O parte din energia cedată BU este acumulată în câmpul magnetic; în momentul ieșirii din conducție este cedată atât mișcării mecanice, elementului de comutație cât și circuitului de protecție la supratensiune unde este disipată sub formă de căldură.

Experimental s-a constatat că dacă blocarea s-ar face mai lent, cu o viteză de variație comparabilă cu viteza de deplasare a maselor magnetice, atunci energia cedată oscilației mecanice are valori mai mari și astfel o parte nu mai este pierdută și recuperată sub formă de mișcare. O comutație mai lentă nu este însă indicată pentru etajul final, deoarece, puterea disipată crește odată cu creșterea timpului de comutație. Dacă însă concomitent cu blocarea rapidă a tranzistorului se realizează și scurt-

circuitarea controlată în timp a bornelor bobinei de excitație, curentul va scădea pînă la valoarea zero în funcție de constanta de timp determinată de $L_{\text{echiv}} R_{\text{echiv}}$ ^{astfel că o} parte importantă a energiei circuitului magnetic va fi cedată mișcării mecanice. Durata scurtcircuitului trebuie să fie egală cu cea a regimului tranzitoriu, o valoare diferită de acesta determinînd fenomene ce vor fi arătate ulterior. Schema funcțională a circuitului de recuperare este prezentată în fig. 3.96.

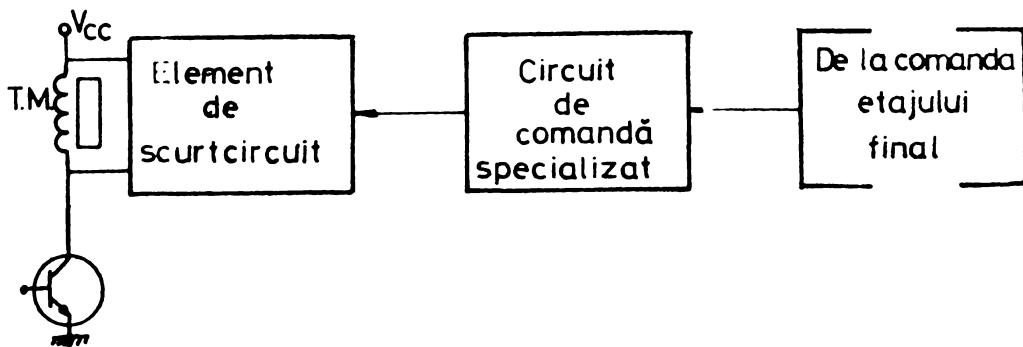
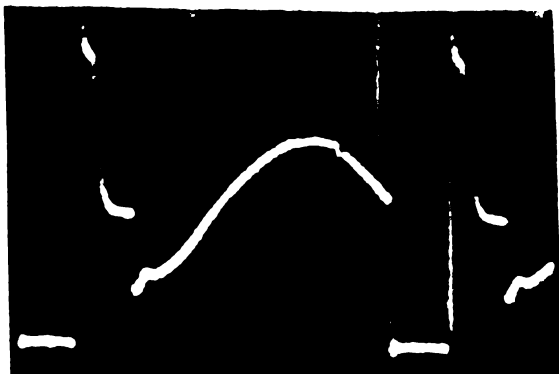


Fig.3.96.

Circuitul de comandă este pus în funcțiune de frontul posterior al impulsului de comandă a etajului final. Acesta este realizat dintr-un circuit basculant monostabil. Utilizarea recuperării energiei este posibilă numai cu respectarea unor limitări și anume:

- faza momentului de ieșire din conducție să nu depășească 50% T
- factorul de umplere total max. 40% pentru o alternanță, respectiv 80% pentru ambele .

Recuperarea energiei și unele aspecte ale utilizării ei sînt prezentate în fig. 3.97,3.98,3.99



a.

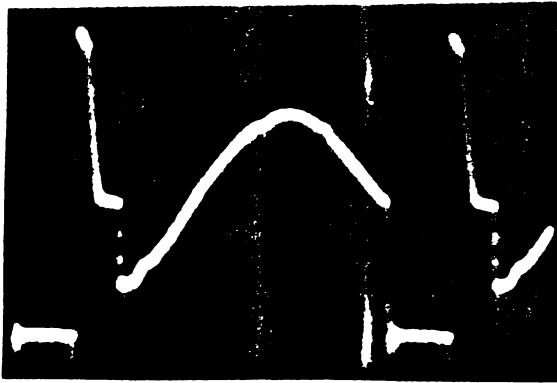


b.

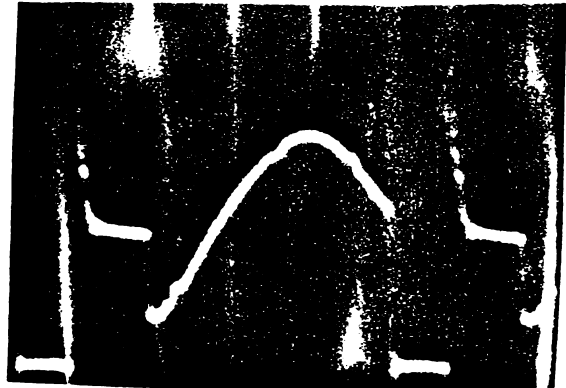
Fig 3.97

./.

În figura 3.97 a este prezentată o excitație fără recuperare și RAP cu RAP cuplat. În fig. 3.97 b este aceeași excitație cu recuperarea cuplată. Se poate observa creșterea amplitudinii oscilației și micșorarea suprafeței impulsului de autoinducție. În același timp s-a evidențiat și scăderea puterii absorbite de către etajul final cu 10%.



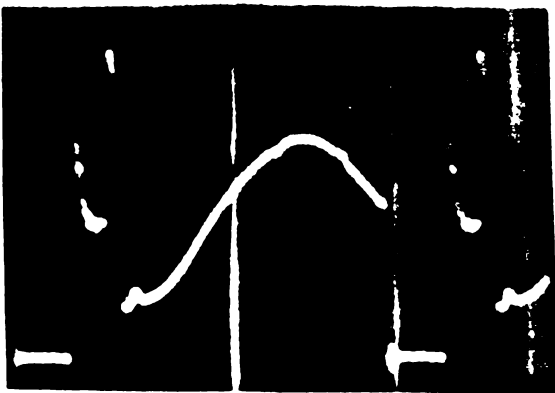
a.



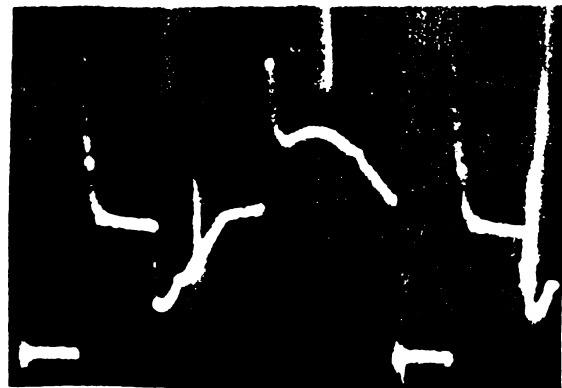
b.

Fig. 3.98

În fig. 3.98a este prezentată o excitație fără recuperare cu RAP și $RA\phi$ cuplate. La cuplarea recuperării se poate observa menținerea constantă a amplitudinii (fig. 3.98 b) însă cu diminuarea duratei de excitație în condițiile micșorării puterii absorbite. În ambele experimente se poate remarca și scăderea efortului de comutație al etajului final.



a.



b.

Fig. 3.99

În fig. 3.99 a este prezentat efectul unei recuperări incomplete când regimul tranzitoriu de autoinducție a fost întrerupt, iar în fig. 3.99 b efectul unei durate mai mari de acțiune a elementului de scurtcircuitare. În acest caz se realizează com-

plet procesul de recuperare însă după aceea are loc o frînare a oscilațiilor prin scurtcircuitarea tensiunii obținute prin efect magnetostrictiv invers.

S-au experimentat trei modalități de recuperare care se deosebesc între ele prin elementul de scurtcircuitare, acesta fiind tranzistor, tiristor sau triac.

Pentru modelul cu tranzistor (fig. 3.100) este necesară o bobină separată de recuperare, bobinată pe TM.

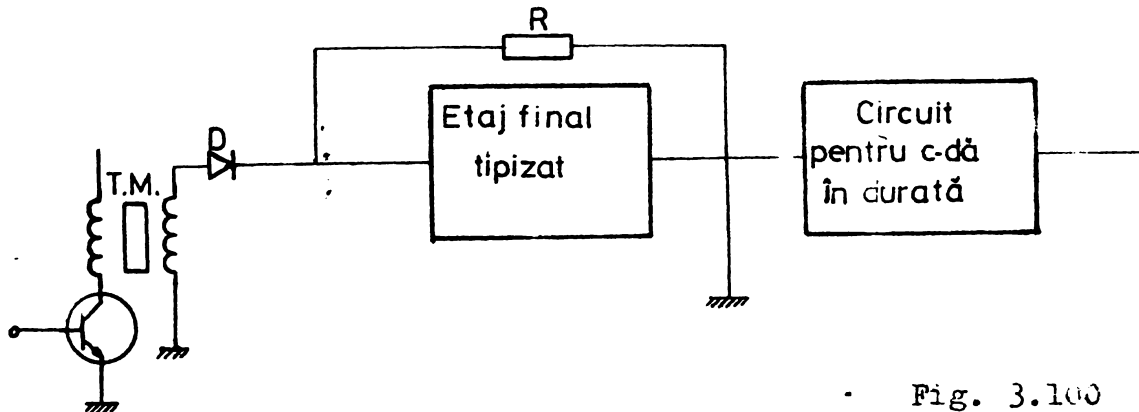


Fig. 3.100

Grupul D, R este montat pentru protecția împotriva tensiunilor inverse care apar în timpul funcționării. Dioda D este o diodă rapidă cu $I_{d\text{med}} \gg 3A$. R este de ordinul $k\Omega$. Această schemă poate fi utilizată atât pentru excitația asimetrică cât și pentru cea simetrică situație în care este necesar încă un etaj.

Utilizarea tiristorului este o metodă mult mai simplă constructiv (fig. 3.101) însă necesită respectarea cu strictețe condițiilor impuse fazei blocării etajului final deoarece întreruperea conducerii tiristorului se realizează prin întreruperea curentului. Tiristorul trebuie să fie de tip rapid. Comanda trebuie făcută înainte de ieșirea din conducție a etajului final printr-un tren de impulsuri.

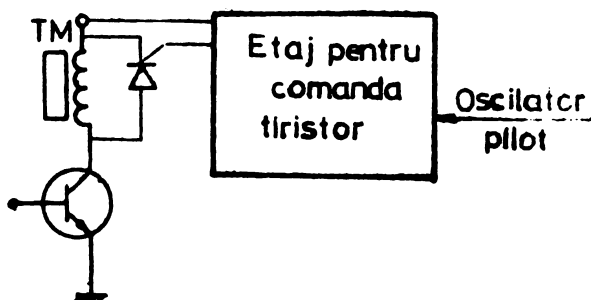


Fig. 3.101

Utilizarea triacului (fig. 3.102) impune ca și în primul caz o bobină separată de recuperare. Avantajul acestei scheme îl constituie faptul că poate

utilizată la excitația simetrică fără a mai fi nevoie de dublarea ei. Triacul trebuie să fie de

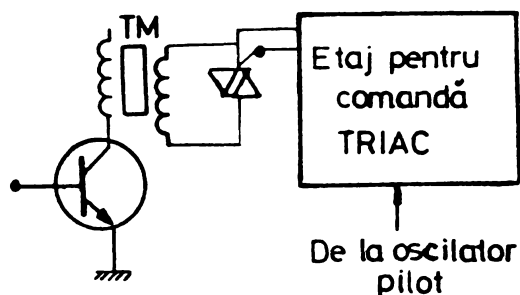


Fig. 3.102

tip rapid.

Ultimele două scheme sînt avantajoase datorită simplității constructive dar utilizarea lor este limitată în frecvență de timpul de blocare al dispozitivelor semiconductoare utilizate.

Recuperarea energiei este o metodă aplicabilă numai excitației în comutație, aplicarea ei în acest domeniu ne fiind încă semnalată în literatură.

Prezența circuitelor de recuperare în construcția generatoarelor are drept consecință, creșterea randamentului de transfer a energiei, creșterea puterii maxime debitate sarcinii, creșterea fiabilității etajului final și cea a TM. Un dezavantaj al schemei îl constituie creșterea prețului de cost al excitatorului și necesitatea de a utiliza dispozitive semiconductoare cu performanțe de timp foarte bune, pentru ultimele două procedee.

3.8. Aplicarea practică a cercetării. Excitatoare realizate cu piese de producție indigenă

Pornind de la necesitatea cercetării experimentale a fenomenelor legate de optimizarea procesului de obținere a energiei ultrasonore a fost proiectat și realizat un excitator multifuncțional lucrînd în comutație, al cărui aspect general este prezentat în fig. 3.14. Schema structurală este redată în fig. 3.103.

Montajul a fost realizat în întregime cu piese fabricate în țară, majoritatea procedeele și soluțiilor tehnice fiind originale. Cu el au fost realizate toate experimentele, multe din ele constituind și un prilej de perfecționare a structurii sale.

El are în compunerea sa 4 etaje finale identice care pot fi acționate independent cu 11 semnale diferite însă sincronice. Etajele pot fi cuplate în paralel puterea fiind egal distribuită prin circuite cu reacție negativă. Tensiunea maximă de alimentare pe sarcină rezistivă este de 60 V iar curentul maxim de 15 A pe etaj. Tensiunea de alimentare pe sarcină inductivă sau magneto-

strictivă trebuie redusă de la caz la caz. Puterea de lucru optimă pe etaj este de 100 W pe o sarcină magnetostrictivă lucrând la o frecvență ≤ 30 kHz și pe o rezistență echivalentă de $3 \cdot \Omega$. Puterea maximă debitată de un etaj pe o sarcină magnetostrictivă este de 200 W. Fiecare etaj este protejat la tensiune, curent și temperatură la depășirea valorilor admise.

Cu acest excitator se pot realiza toate modurile de excitație, în plus, fiind posibilă excitația în 4 faze și durate diferite a BU complexe formate din mai multe TM căplate mecanic, pentru a cerceta posibilitatea de control a frecvenței de rezonanță mecanice prin procedee electrice.

Excitatorul este prevăzut cu 2 modalități de obținere a semnalului util pentru controlul stării de oscilație a BU și anume, direct, de pe înfășurarea de excitație pentru starea blocat și printr-un transformator de curent pentru starea de conducție.

RA \emptyset și RAF se realizează pe frontul anterior al impulsului de excitație și acționează în mod discret prin sincronizarea oscilatorului pilot.

RAP se realizează atât prin procedeul modificării duratei impulsului de excitație cât și prin acela al schimbării valorii tensiunii de alimentare. Primul sistem acționează rapid având posibilitatea de control a amplitudinii fiecărei semialternanțe.

Ațit sistemului RA \emptyset cât și RAP i se pot impune și alte legi de variație decât menținerea unei valori constante.

Frecvența și puterea pot fi stabilite manual. În compunere există un etaj de recuperare care poate fi comutat la fiecare etaj final.

Generatorul de semnale generează 11 semnale, frecvența lui poate fi controlată automat prin RA \emptyset sau poate fi comandată manual în gama 1 kHz - 50 kHz. Poate fi sincronizat și din exterior. Sistemul de protecție la supracurent acționează blocând prin semnalul de comandă etajul în cauză. Protecția la temperatură se realizează prin decuplarea sursei de alimentare.

Acest model de excitator oferă posibilități largi de studiu asupra comportării BU în diferite situații cât și pentru testarea unor tehnologii. Prin cuplarea în paralel a mai multor etaje finale puterea de excitație se poate mări corespunzător.

În realizarea excitatoarelor în comutație pentru scopuri tehnologice s-au conturat mai multe criterii dintre care mai im-

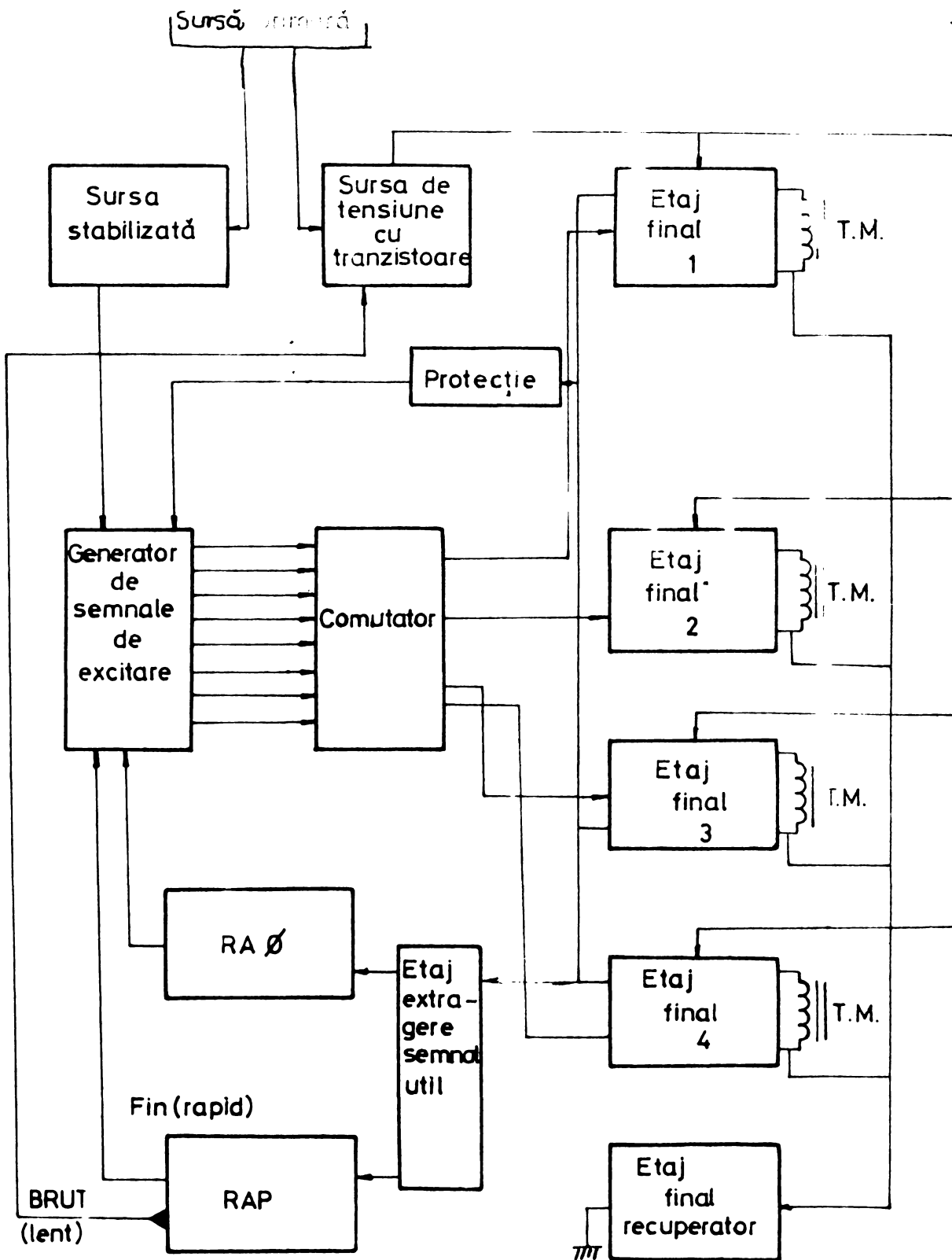


Fig. 3.103

portante sînt, raportul performanțe - preț de cost, precum și utilizarea în exclusivitate a producției interne de piese.

Pentru obținerea mai multor variante de excitatoare este avantajos să se recurgă la construirea modulară și tipizată a părților componente de uz general. Un prim exemplu în acest sens îl constituie etajul final împreună cu circuitele de protecție. Singurul etaj care nu poate fi supus tipizării este etajul pentru extragerea semnalului de control a stării de oscilație a BU.

Schemele RAØ și RAP nu trebuie să lipsească din nici o formulă structurală de excitator, ele contribuind atît la creșterea fiabilității cît și în realizarea optimului funcțional.

În fig. 3.104 se prezintă schema structurală a unui excitator simplu și ieftin cu performanțe foarte bune lucrînd în modul asimetric. Frecvența de lucru 18 - 30 kHz, putere 0 - 150 W cu o impedanță optimă de 3Ω .

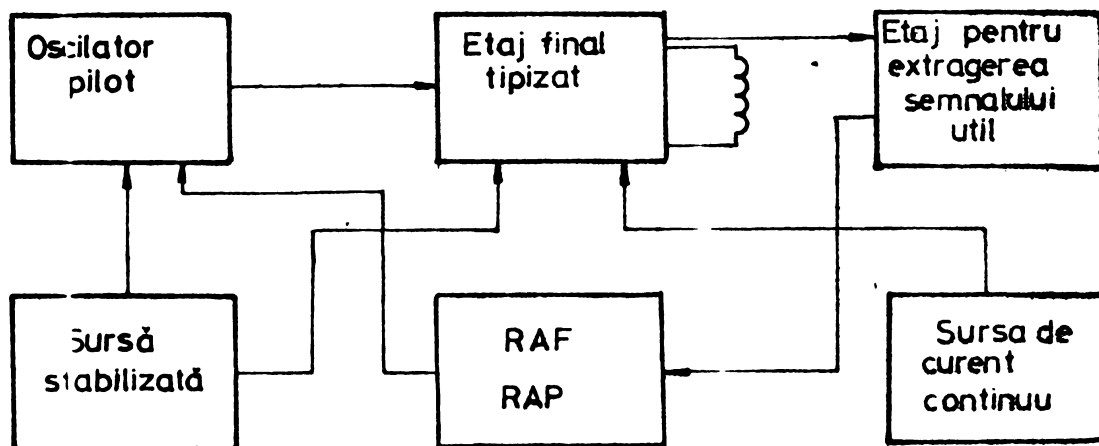


Fig. 3.104

În cazul în care etajul final este echipat cu tranzistoare SDT puterea maximă debitată poate crește pînă la 200 W. Ca sursă de curent continuu se folosește un bloc exterior care poate asigura tensiuni de 30 - 60 V la curenții maximi absorbiți. Prețul de cost al generatorului este de aproximativ 15.000 lei.

În cele ce urmează se prezintă o sinteză a rezultatelor verificate și experimentate de autor pentru principalele părți componente ale unui excitator.

Etaj final:

1. Subbloc modular pentru excitație asimetrică
2. Subblocuri modulare pentru excitație simetrică
3. Subblocuri modulare pentru excitație complexă cu patru canale independente.

Protecție:

1. Pentru etajul final: curent, tensiune, temperatură.
2. Generală - siguranță fuzibilă
3. Pentru ferită - protecție la depășirea unei amplitudini limită a oscilației.

Generatorul pilot:

1. Excitație asimetrică cu factor de umplere total 5%-60%
2. Excitație simetrică cu un factor de umplere fix de 50%
3. Excitație simetrică cu factor de umplere reglabil între 5% - 60% pentru fiecare semialternanță
4. Excitație complexă care include toate modalitățile anterioare cu posibilitatea acționării simultane și independente a 4 canale.

Etaj de recuperare:

1. Cu tranzistor
2. Cu tiristoare rapide.

Surse de alimentare:

1. Stabilizată cu tranzistoare pentru etajele de semnal (mică putere)
2. Nestabilizată și nereglabilă pentru etaje finale.
3. Nestabilizată și reglabilă manual.
4. Stabilizată și reglabilă cu tiristoare.

Blocuri de extragere a semnalului util referitor la starea de oscilație a BU:

1. TM cuplat mecanic cu BU
2. Infășurare specială pentru evidențierea oscilației BU.
3. Utilizarea mărimilor reflectate la bornele bobinei de excitație: tensiune, curent.

RAF:

- cu baleiaj în prevență comandat prin tensiune.

RAØ:

1. Cu reținere în timp față de faza 0%
2. Cu reținere față de faza 25%
3. Compararea cu o tensiune constantă în raport cu amplitudinea oscilației.

RAP:

1. Cu schimbarea fazei
2. Schimbarea duratei impulsului de excitație

3. Cu tiristoare
4. Cu divizarea frecvenței de oscilație.

Concluzii

Optimizarea obținerii energiei ultrasonore în scopuri tehnologice este o acțiune complexă determinată de mai mulți factori depinzând de tipul excitatorului, de modul de excitație, de BU, precum și de parametri tehnologici impuși unui anumit proces. Utilizarea comutației în generarea ultrasunetelor ca o posibilitate de optimizare ridică probleme specifice în toate compartimentele lanțului energetic interpus între sursa de energie primară și zona tehnologică. Excitatoarele lucrând în comutație se caracterizează prin simplitate, robustețe și preț de cost redus, prin utilizarea la maximum a posibilităților dispozitivelor semiconductoare. Relația energetică dintre impulsul de excitație și TM aflat în stare de oscilație s-a concretizat prin existența celor două moduri fundamentale de excitație, asimetric respectiv simetric, fiecare din acestea cu caracteristicile, avantajele și dezavantajele sale.

Problemele cele mai dificile care au trebuit rezolvate în relația excitator - BU au fost legate de menținerea tranzistorului final la limita de saturație, indiferent de valoarea curentului și realizarea unui regim de blocare cât mai rapid însă fără a periclita siguranța acestuia.

S-a demonstrat că solicitările la blocare depind foarte mult de faza oscilației TM și pot fi diminuate prin circuite speciale de protecție la supratensiune, dar și prin metode de recuperare, caz în care o mare parte din energia, care s-ar fi pierdut, este cedată în continuare oscilației mecanice.

Faza impulsului de excitație în raport cu oscilația TM este un factor deosebit de important al transferului energetic; controlul fazei prin sistemul RAØ, realizat în mai multe variante constructive, constituie un procedeu major de optimizare. Schemele RAØ, realizate în comutație, diferă esențial de cele în regim sinusoidal acționând discret prin impulsuri de sincronizare, fiind mult mai precise și mai stabile în funcționare.

Folosirea comutației oferă posibilitatea realizării unor sisteme RAP cu acțiune rapidă care au posibilitatea controlării amplitudinii fiecărei oscilații, fapt deosebit de important în creșterea fiabilității feritelor funcționând "în gol". Dotarea

generatorului cu două tipuri de RAP, rapid precum și cu tiri-
stoare, oferă o gamă de puteri controlate foarte mare.

In încheiere se poate conclud^{ea}na că cercetările și rea-
lizările practice au atins obiectivul optimizării, oferind în
acelaș timp posibilitatea realizării unor generatoare perfec-
ționate cu piese de proveniență indigenă și cu performanțe
ridicate.

4. CERCETARI ASUPRA REALIZARII DE APARATURA PENTRU IDENTIFICAREA DINAMICA A UNOR PARAMETRII CARACTERISTICI AI BLOCURILOR ULTRASONICE IN SCOPUL IMBUNATATIRII PERFORMANTELOR ECHIPAMENTELOR TEHNOLOGICE SAU ACEIA AL OPTIMIZARII UNOR TEHNOLOGII.

Imbunătățirea performanțelor echipamentelor tehnologice în faza constructivă sau în cea a utilizării lor este nemijlocit legată de cunoașterea parametrilor B.U. Evidențierea acestora într-un mod precis și rapid se poate face numai cu aparatură specializată. Metodele identificării dinamice sînt tratate în literatura de specialitate la un nivel mai mult teoretic, în țara noastră nefiind semnalată încă o realizare practică de identificare experimentală a B.U. [17], [18], [31], [39], [54], [55], [57].

Metoda de identificare expusă este cea grafică, aceasta fiind suficientă pentru necesitățile practice ale cercetării, producerii și exploatareii corecte a B.U. la nivelul unor performanțe superioare. Aceiași metodă poate fi utilizată și pentru optimizarea unor tehnologii.

4.1. CERCETAREA DINAMICA A BLOCURILOR ULTRASONICE, PARAMETRII CERCETATI, TIPURI DE SEMNALE UTILIZATE.

Schema logică a cercetării dinamice constă în aplicarea unei excitații energetice sistemului și înregistrarea răspunsului. Fig.4.1.

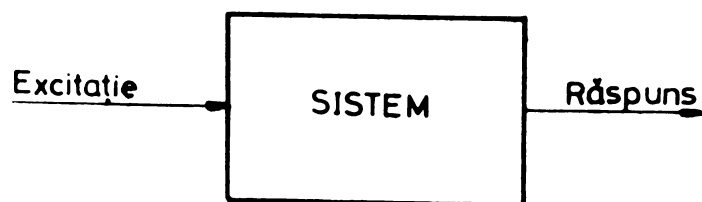


Fig.4.1.

Este important ca excitația să fie de așa natură încât răspunsul să corespundă necesităților practice urmărite. Prin acest răspuns se încearcă o estimare a parametrilor sau stării B.U. care să corespundă unei anumite cerințe practice legate de construirea, reglarea sau utilizarea lui.

O condiție importantă a acțiunii de identificare aplicată unui lot de elemente sau chiar asupra unuia singur, este menținerea constantă a tuturor parametrilor stabiliți inițial pe toată perioada experimentului cu excepția celor care fac obiectul studiului. Pentru simplificarea identificării, măsurările se fac în valori relative, cele în valori absolute mult mai complexe, efectuându-se numai atunci când este strict necesar.

Identificarea se poate realiza atât cu semnale periodice cât și cu semnale aperiodice. În experimentări s-au încercat ambele tipuri de semnale, cele periodice dovedindu-se mai potrivite pentru a realiza o aparatură de identificare. Drept semnale periodice s-au utilizat impulsuri dreptunghiulare de tensiune cu unii din parametrii modulați după o lege de variație liniară, acest mod de excitație fiind identic cu cel utilizat în excitatoarele care lucrează în comutație, cu deosebirea că acestea din urmă au aceiași parametrii constanți. Excitarea poate fi făcută simetric sau asimetric cu un factor de umplere între 5% - 50% pentru fiecare serialternanță. Interpretarea răspunsului în vederea identificării se face la nivel grafic deoarece aceasta se consideră corespunzătoare scopurilor propuse.

Pentru o caracterizare cât mai completă a B.U. se utilizează trei categorii de semnale de probă și anume:

- de tip "A" cu modulație în frecvență
- de tip "B" cu modulație în amplitudine
- de tip "C" cu modulație în durată

semnalul de tip "A" este reprezentat în fig.4.2. Se modulează perioada, respectiv frecvența impulsurilor de excitație, și se păstrează constante factorii de umplere și amplitudinea impulsului

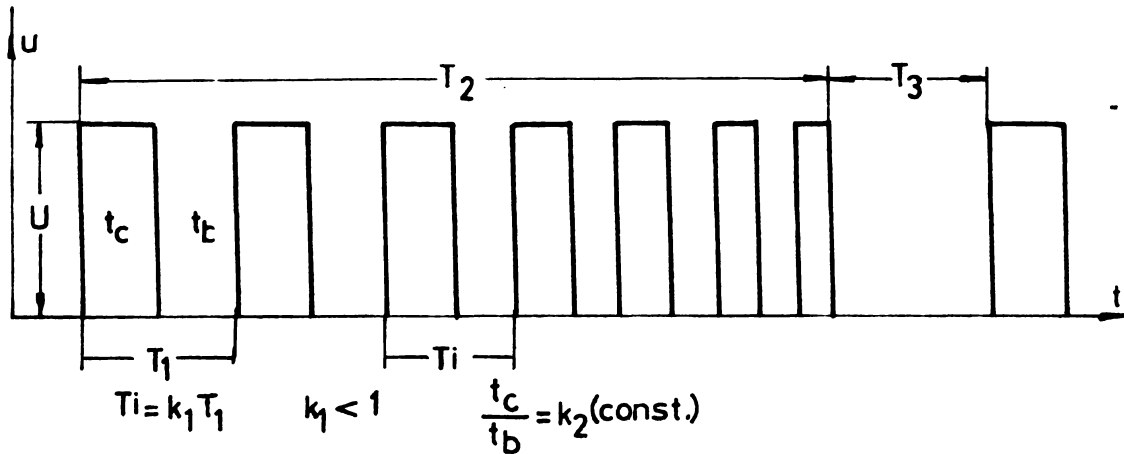


Fig. 4.2.

Acest semnal este caracterizat prin următorii parametri:

- amplitudine U
- factor de umplere $\Delta T = t_{ci} / T_1$ (%)
- viteza de variație a perioadei, $k_1 < 1$.
- durată unui tren de impulsuri T_2 .
- pauză între două semnale de excitație T_3 .

Periodicitatea trenului de impulsuri $T_2 + T_3$ trebuie să fie suficient de mare pentru ca energia cedată în timpul unui băleis, să fie disipată complet până la apariția următorului tren de impulsuri în așa fel ca fiecare explorare să înceapă în condiții inițiale identice.

Pentru a obține cât mai multe detalii ale curbelor de răspuns, viteza de variație k_1 a perioadei T_1 trebuie să fie suficient de mică; constructiv aparatul de identificare oferă posibilitatea alegeți unei valori optime a acesteia în funcție de scopurile propuse.

Semnalul de tip "B" este reprezentat în fig. 4.3.

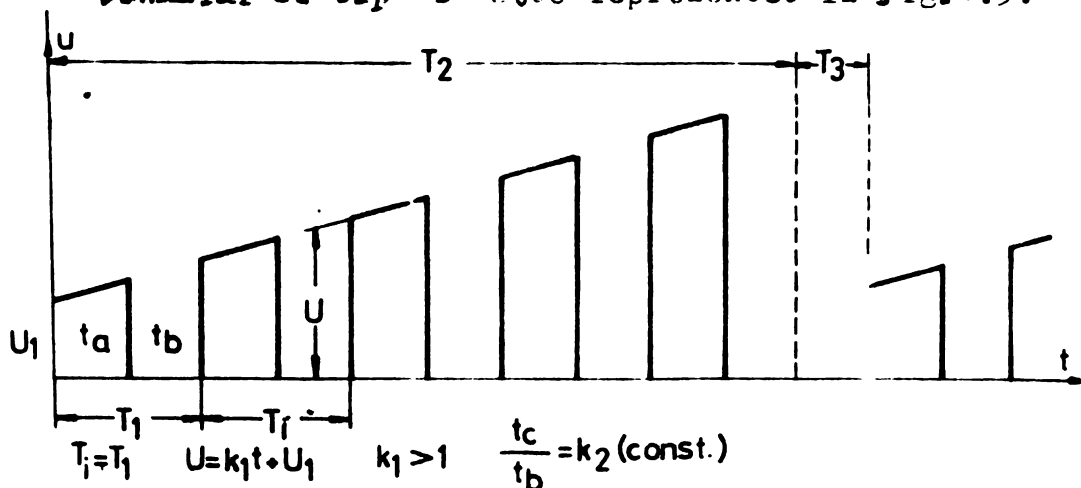
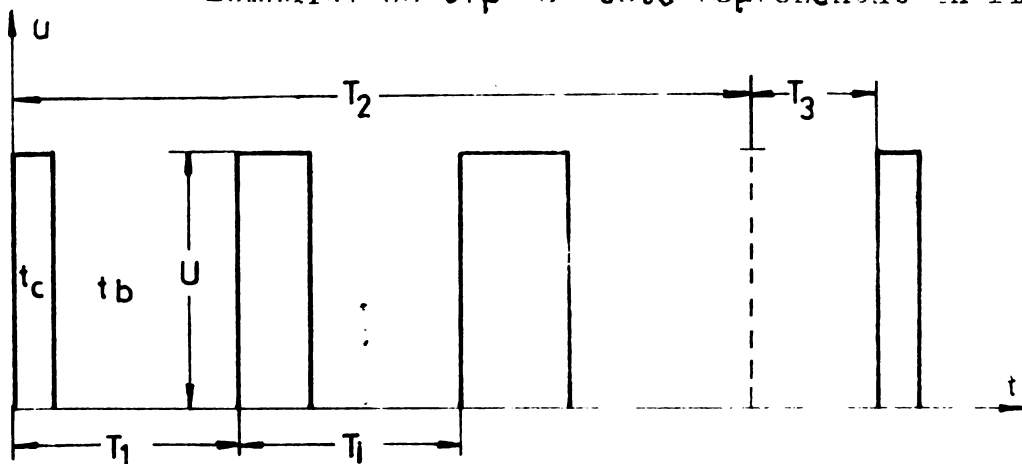


Fig. 4.3.

Se modulează amplitudinea impulsului menținându-se constante faza de excitație și factorul de umplere, respectiv durată.

Semnalul de tip "C" este reprezentat în fig. 4.4.



$$T_i = T_1 \quad t_{ci} = k_1 t + t_{c1} \quad U = \text{constant} \quad k_1 > 1$$

Se modifică durata conducerii respectiv factorul de umplere, menținându-se constante fazele de excitație și amplitudinea impulsului.

Afirmățiile în legătură cu periodicitatea trenului de impulsuri și cu viteza de variație a mărimii modulate de la semnalul de tip "A" sînt valabile și pentru semnalele de tip "B" respectiv "C".

Deoarece este greu de prevăzut sau de calculat ce parametri se impun pentru a obține un răspuns corect este necesar ca aparatura de identificare să ofere posibilitatea schimbării în limite largi a parametrilor semnalelor de probă.

Dintre toate mărimile de răspuns cea mai importantă este oscilația integrală sau a unei puncte ale B.S., oscilație sinusoidală caracterizată prin amplitudine și fază, măriri considerate primare pentru calculul altora cum ar fi energia sau puterea utilă.

O altă mărime, valoarea medie a curentului de excitație este legată de puterea termică consumată, deci în cazul considerat tot o mărime primară.

Prin prelucrare grafică, analitică sau electrică a acestor mărimi se pot obține variații ale altor mărimi în funcție de frecvență, amplitudine sau durată.

O condiție importantă impusă aparatului este de-a genera impulsuri de excitație cu parametri comparabili cu cei utilizați în regimurile normale sau forțate de funcționare a B.U.

Dintre mărimile secundare de răspuns ale sistemului care pot fi afișate direct pe aparatul de redare - înregistrare a graficelor, în valori relative în funcție de frecvență, amplitudine sau durată se pot menționa:

- modulul impedanței
- puterea consumată
- puterea utilă în diverse puncte
- randamentul
- faza excitației.

O serie de alte mărimi cum ar fi Factorul de calitate, frecvența de rezonanță etc. se pot deduce prin calcul sau prin analiza graficelor. Din cele trei tipuri de semnale prezentate cel mai important este cel din categoria "A", deoarece folosirea lui oferă cele mai multe informații utile. În procesul de identificare cu oricare din semnalele în care frecvența, amplitudinea sau durata sînt variabile, celelalte mărimi care le caracterizează sînt considerate parametri și pot fi schimbate de la o măsură la cealaltă obținîndu-se în acest mod familii de caracteristici în funcție de un anumit parametru.

4.2. Structura funcțională și construcția aparatului de identificare dinamică a plăcii ultrasonice

Aparatura de identificare este realizată prin adaptarea schemei generale de excitator prezentată în capitolul 2.

În figura 4.5. este expusă o schemă structurală generală a acesteia.

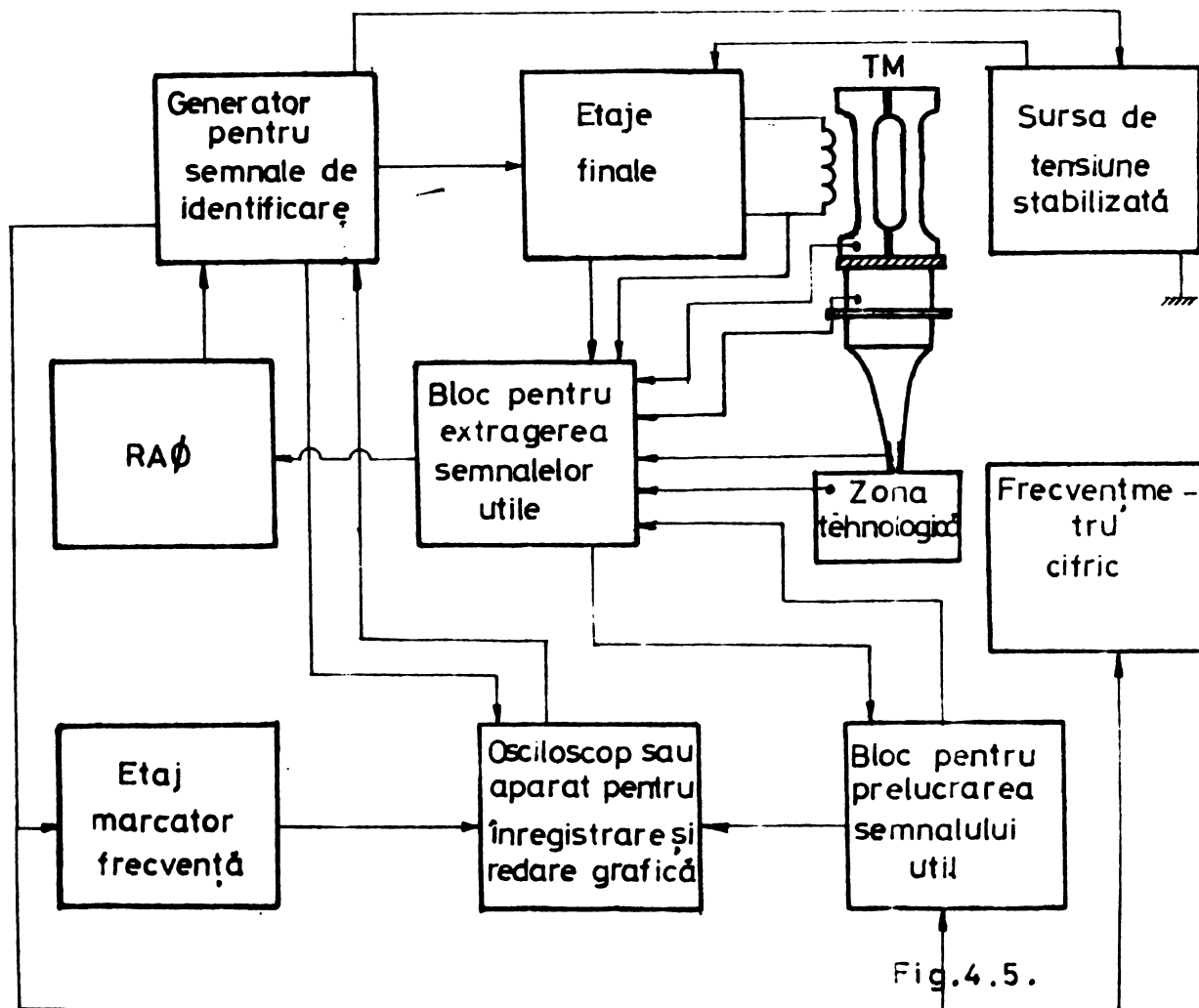


Fig.4.5.

Generatorul semnalelor de identificare poate genera tre-nuri de impulsuri sau un impuls periodic util prezente în capitolul 4.1. Poate realiza și etajele finale în regim metric și simetric.

Blocul pentru extragerea semnalelor utile realizează prelucrarea acestuia din diferite puncte ale plăcii ultrasonice pentru adaptarea celorlalte părți ale aparatului. Forțate săt cele din capitolul 4.1.

Sursa de tensiune stabilizată pentru puteri pînă la 250 W este realizată cu tranzistoare; peste această valoare se utilizează tiristoarele.

Blocul pentru prelucrarea semnalului util este destinat obținerii unor mărimi derivate conținînd în structura lor circuite de însumare și înmulțire sau de alte categorii.

Marcatorul de frecvență este destinat indicării direct pe aparatele de redare grafică și înregistrare a poziției corespunzătoare unei anumite frecvențe. Valoarea acesteia se citește cu ajutorul unui frecvențmetru cifric.

Marcatorul poate servi și la calibrarea în frecvență a ecranului osciloscopului.

Aparatura pentru redare și înregistrare grafică este destinată vizualizării variației unor parametri și memorării acestora. În subcapitolele următoare sînt prezentate detaliat părțile componente ale schemei structurale.

4.2.1. Excitația

Excitația se face cu etaje finale în comutație cu impulsuri dreptunghiulare de tensiune, cărora li se impun anumite legi de variație a variabilelor și parametrilor arătate în subcapitolul 4.1.

Excitația poate fi făcute așa cum s-a arătat, simetric sau asimetric, modelînd toate modurile de lucru ale excitatoarelor în comutație. Pentru realizarea excitației simetrice sînt necesare două canale independente de la generatorul de semnale de identificare pînă la etajul final. Etajul final pentru fiecare canal este constituit din unul sau mai multe etaje finale elementare tipizate prezentate în subcapitolul 3.4., în funcție de puterea de excitație care se impune. Înfășurarea de excitație în cazul în care nu este deja inclusă în construcția B.U. este o înfășurare special confecționată cu mai multe prize pentru adaptare și cu posibilitatea cuplării rapide la transductorul magnetostrictiv studiat.

Spre deosebire de excitatoarele de uz tehnologic cele pentru identificare impun ca tensiunea de alimentare să fie stabilizată avînd o valoare constantă, sau răspunzînd unei anumite legi de variație impuse prin procesul identificării.

Impulsurile de excitare corespunzînd unuia din tipurile de semnale prezentate în^{ca} capitoul 4.1. sînt realizate în cazul "A" prin modularea simultană a timpilor de conducție și blocare, în cazul "B" prin modularea tensiunii stabilizate pentru alimentarea etajului final, iar în cazul "C" prin modularea timpilor de conducție și păstrarea constantă a perioadei.

Pentru ultimile două tipuri de excitare este necesară cuplarea unei scheme RAØ pentru păstrarea constantă a fazei, atunci cînd aceasta este necesar.

4.2.2 Generarea semnalelor pentru identificare

Pentru generarea unor semnale de identificare de tipul celor prezentate în fig.4.2 s-a proiectat și verificat experimental o schemă a cărei structură este prezentată în fig. 4.6

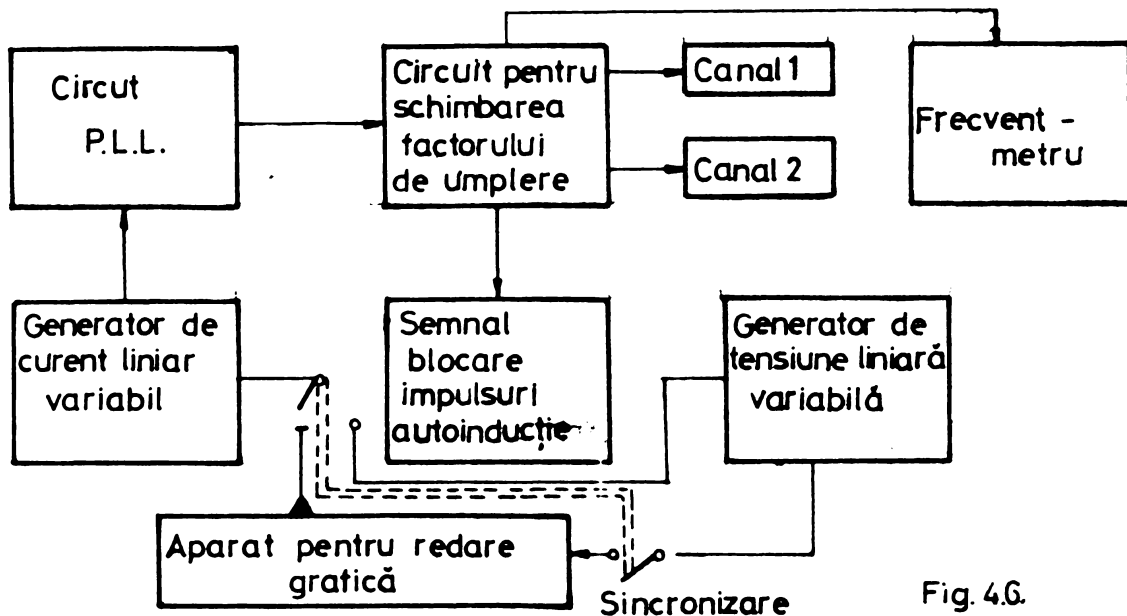


Fig. 4.6.

Generatorul propriuzis este format dintr-un circuit PLL integrat din care se utilizează oscilatorul controlat în tensiune, care poate oscila cu o frecvență fixă sau cu o frecvență liniar variabilă, proporțională cu tensiunea de comandă [71]

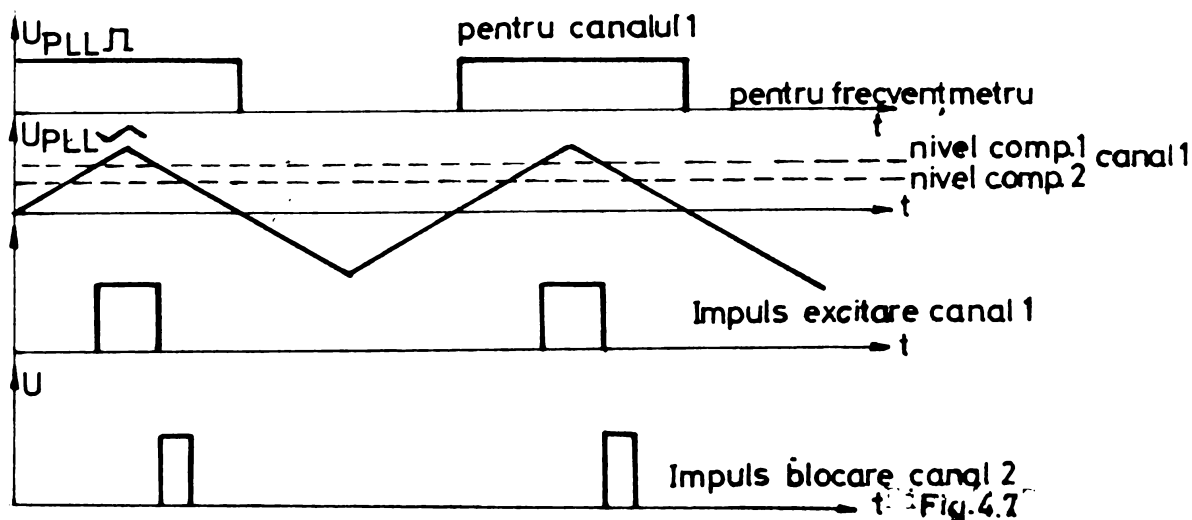
$$f = K U_{cdă} \quad /4.1/$$

Tensiunile de ieșire ale circuitului PLL de formă dreptunghiulară și ~~triunghiulară~~ acționează un circuit pentru fixarea factorului de umplere din care rezultă următoarele semnale:

- pentru frecvențimetru
- pentru canalele de excitație cu un factor de umplere variabil între 5% - 50% pentru fiecare semialternanță, care se menține constant indiferent de valoarea frecvenței de oscilație
- impulsuri pentru circuitul de extragere a semnalului util, necesar pentru blocarea erupțiilor de tensiune datorate autoinducției sau pentru alte prelucrări de

semnal. Acest impuls este situat imediat după impulsul de conducție și de asemeni trebuie să se găsească cu acestea într-un raport de durată constant, indiferent de frecvență.

În fig.4.7. se prezintă modul în care se obțin semnalele enumerate mai sus pentru canalul 1.



Pentru canalul 2 impulsurile și semnalele se obțin prin dublă comparare a celeilalte semialternanțe a tensiunii triunghiulare.

Tensiunea de comandă a OCT provine fie de la un generator de tensiune liniar variabilă, "dinte de ferestru", fie din baza de timp a aparatului de reprezentare grafică. În primul caz este necesar și un impuls de sincronizare a aparatului de reprezentare grafică.

Gama de frecvențe a semnalului de identificare vobulat este formată din două trepte de la 2 KHz - 20 KHz și de la 5 KHz - 50 KHz, cu posibilitatea alegerii unui domeniu cu dimensiunile $\Delta f > 1 \text{ KHz}$ printr-o "lupă de frecvență". Acest domeniu poate fi plasat în orice punct a gamei de frecvență. Pentru a obține semnalele de identificare prezentate în fig.4.3, tensiunea de comandă liniar variabilă se aplică etajului de alimentare stabilizat a etajelor finale.

Pentru a obține semnale de identificare prezentate în fig.4.4 tensiunea de comandă liniar variabilă se aplică unui bloc de generare al cărui tip a fost prezentat în capitolul 3.5 , fiind parte componentă a schemei generale a excitatorului.

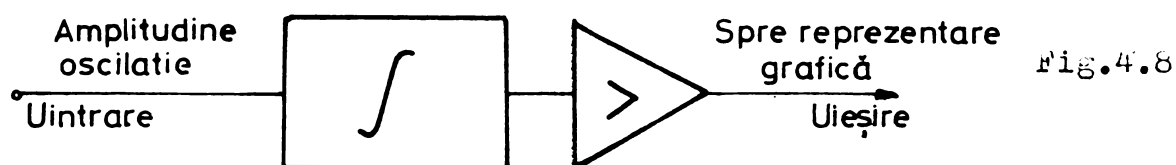
4.2.3 Extragerea și prelucrarea mărimilor utile

Cea mai importantă mărime care trebuie evidențiată este evoluția în timp a oscilației întregului T.M. sau a unor puncte din traseul energetic ultrasonic. Metodele de extragere și prelucrare nu diferă mult de cele prezentate în subcapitolul 3.6.1.

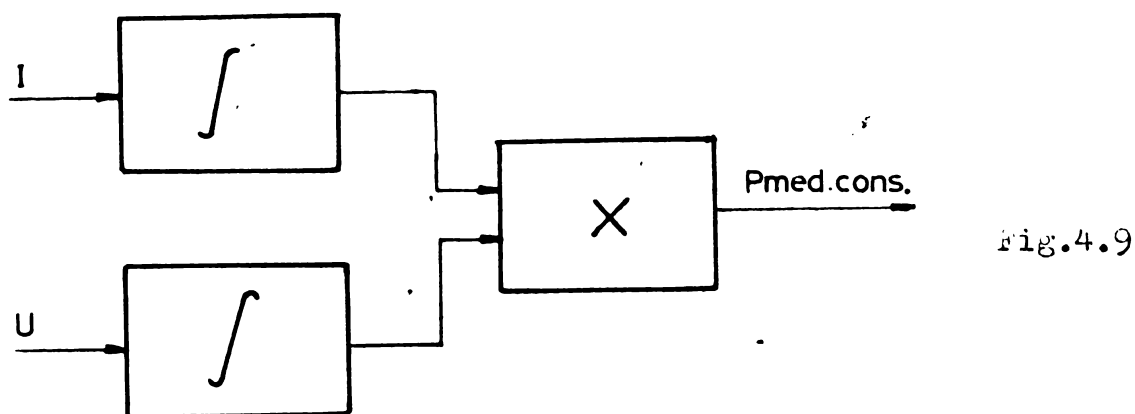
Un alt procedeu este utilizarea traductoarelor specializate, de preferință pentru accelerații, montate conform indicațiilor din literatura de specialitate pe traseul acustic, fie înainte, fie după zona tehnologică. Această metodă permite atât măsurători în valori relative cât și în valori absolute.

Aplicarea ei deși oferă rezultate mai precise, este mult mai costisitoare, traductorii respectivi fiind procurați din import. Semnalul de identificare poate avea aceeași frecvență cu cea de oscilație sau poate fi un submultiplu al acestui caz evidențiat și în funcționarea schemei RAP cu divizarea frecvenței. În acest caz se obține un răspuns în intervalul dintre excitații mai direct legat de calitățile T.M. deoarece în acest interval oscilația are un caracter liber dealungul mai multor perioade.

Prelucrarea semnalului util se realizează atât pentru obținerea unor mărimi primare cât și pentru cele secundare (derivate din aceasta). Presupunând ca semnalul util a fost extras și plasat la un potențial de referință convenabil pentru obținerea unor mărimi proporționale cu amplitudinea oscilației sau cu puterea medie consumată sînt necesare circuitele electrice cu schema generală din fig.4.8



În cazul cînd dorim să obținem ca mărime valoarea medie a puterii consumate, circuitul trebuie să aibe structura ca în fig.4.9



În cazul cînd oscilațiile se produc în domeniul liniar între puterea utilă și amplitudinea oscilației există o relație de proporționalitate. În acest caz prin circuite adecvate pentru modelarea operațiilor matematice este posibilă redarea curbei randamentului relativ.

Pentru ca puterea utilă să fie proporțională cu amplitudinea oscilației este necesar ca sarcina mecanică a B. J. să fie constantă, aceasta intervenind în formula de coreșpondență a amplitudinii cu puterea utilă.

4.2.4 Marcatorul de frecvență

Deoarece cunoașterea cu precizie a frecvenței este o condiție necesară a caracterizării evoluției unei mărimi utile, aparatura de identificare trebuie să conțină un circuit care să indice valoarea ei pe orice punct a reprezentărilor din aparatura de redare.

În cazul unui osciloscop această indicare se execută fie prin schimbarea intensității spotului fie prin variația bruscă a tensiunii și revenirea ei la valoarea corespunzătoare mărimii reprezentate.

Indiferent de procedeul de afișare, circuitul marcatorului trebuie să memoreze poziția indicată și să genereze un semnal de o anumită frecvență corespunzătoare punctului ales, măsurabil cu un frecvențmetru cifric. Pentru obținerea marcatorului au fost experimentate două scheme concretizate structural în fig. 4.10.

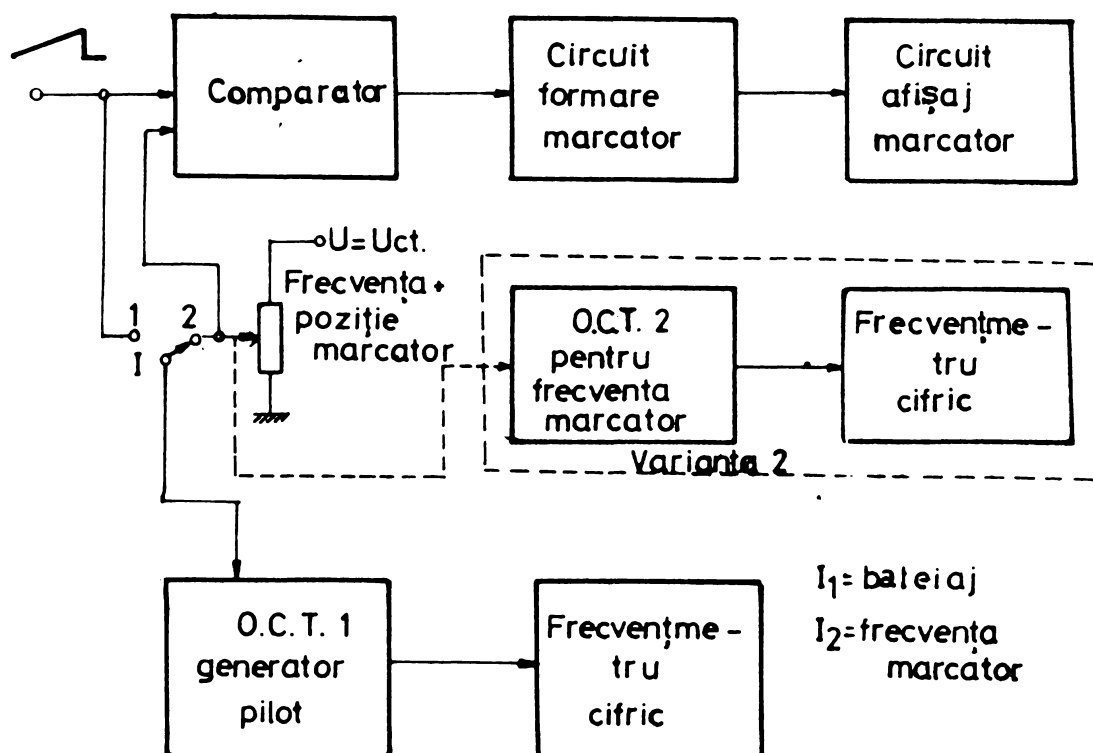


Fig. 4.10

În esență cele două scheme au aceeași funcționare și anume:

Canalul marcatorului propriuzis se compune dintr-un comparator care compară tensiunea liniar variabilă de comandă a O.C.T. cu tensiunea continuă aleasă de operator prin acționarea potențiometrului P. În momentul egalității celor două tensiuni se schimbă starea logică a comparatorului și prin intermediul circuitului de formare a marcatorului acesta se aplică pe elementul de afișaj. În acel moment frecvența instantanee a O.C.T. corespunde valorii celei determinate de tensiunea continuă.

Pentru a măsura această frecvență sînt două posibilități.

1. Se întrerupe tensiunea de baleiaj și în locul ei se aplică tensiunea de stabilire a poziției marcatorului de pe potențiometrul P_1 (fig.4.10), urmată de citirea frecvenței de oscilație a lui OCT-1.

2. Se utilizează OCT-2 identic cu OCT-1, caruia i se aplică permanent tensiunea de pe potențiometrul P_1 (fig.4.10).

Frecvența constantă generată de OCT-2 corespunde poziției marcatorului și este egală cu frecvența instantanee a lui OCT-1 din momentul în care tensiunea de baleiaj cu tensiunea poziției marcatorului sînt egale.

Prima variantă este mai simplă constructiv și cu o precizie foarte mare, dar are dezavantajul întreruperii baleiajului.

A doua variantă nu mai necesită întreruperea baleiajului în schimb are o precizie mai redusă și este mai complicată constructiv.

Pe lîngă frecvență trebuie măsurată și amplitudinea mărimii vizualizate, care este direct proporțională cu valoarea absolută a acesteia, dacă schema de măsură și afișare este liniară. Pentru măsurare nu sînt necesare circuite speciale, deoarece se poate utiliza circuitul de calibrare în amplitudine al osciloscopului sau aparatului de înregistrare.

În concluzie, pe baza rezultatelor practice și a experimenturilor efectuate, în sensul construirii unei aparaturi de identificare, se poate afirma că realizarea acesteia este posibilă cu utilizarea de componente produse de economia națională, la un preț de cost mult mai mic decît cel necesar procurării din import și cu asigurarea unor performanțe corespunzătoare.

4.3. APARATURA PENTRU IDENTIFICAREA GRAFICĂ A BLOCURILOR ULTRASONICE, REALIZATA CU PIESE DE PRODUCTIE INDIGENA.

Autorul a realizat un aparat de identificare grafică a B.U. constituit pe bază schemei generale prezentată în fig.4.5.

Pentru afişare se utilizează un osciloscop cu memorie sau un osciloscop obișnuit cu o bază de timp de cel puțin o secundă. În modelul experimental prezentat în fig. 4.11, se poate constata faptul că o parte din aparatura de identificare este comună cu cea a excitatorului prezentat în subcapitolul 3.8.

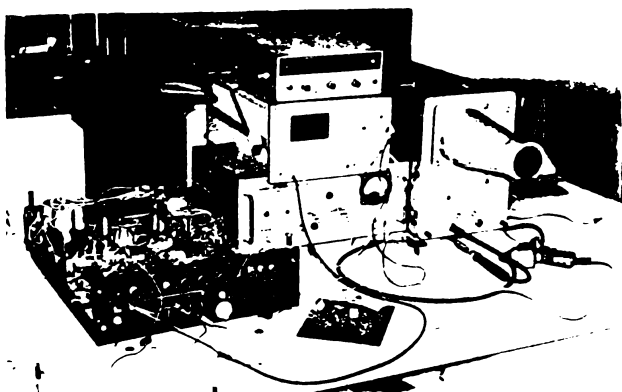


Fig. 4.11.

Marcatorul este afișat printr-o linie verticală a cărei poziție se stabilește prin potențiometrul "FRECVENTA".

Măsurarea frecvenței se face cu un frecvențimetru citric prin metoda întreruperii baleiajului. Întreruperea baleiajului se poate face prin două metode și anume, cu și fără menținerea excitației. Menținerea excitației, la întreruperea baleiajului în frecvență, oferă posibilitatea măsurării precise a tuturor parametrilor corespunzător punctului ales.

Semnalul de excitație este de tip asimetric direct sau invers, cu posibilități de schimbare a factorului de umplere între 5%-70%. Odată fixat acest factor, el se menține constant pe timpul baleiajului. Gama frecvențelor de baleiaj este de la 2 kHz - 40 kHz, în două subgame.

Baleiajul se poate realiza și pe primele zece subarmonic ale frecvenței de oscilație pentru o frecvență de rezonanță de minim 20 kHz.

Puterea maximă debitată de etajul final este de 500W. Alimentatorul stabilizat este cu tiristoare și cu un filtru capacitiv. Semnalul util se extrage direct de pe înfașurarea de excitație. Cu acest aparat au fost efectuate o serie de experimente

care vor fi prezentate în subcapitolul următor.

Aparatul este realizat în întregime cu piese indigene, utilizându-se pe scară largă circuite integrate și dispozitive semiconductoare cu siliciu. Acest aparat realizează semnale de tip "A" cu modulația liniară în frecvență.

Deși aparatul se găsește doar în fază experimentală, el corespunde pe deplin condițiilor impuse, oferind posibilitatea obținerii unor parametrii importanți ai B.U. și constituind nucleul unui model perfecționat cu posibilități multiple.

4.4. APLICAREA ÎN CERCETARE ȘI INDUSTRIE A REZULTATELOR CERCETĂRII ÎN DOMENIUL IDENTIFICĂRII BLOCURILOR ULTRASONICE.

Evidențierea unor parametri ai T.M. sau B.U. într-un mod operativ, cu productivitate ridicată, constituie un motiv important pentru aplicare în cercetare și industrie. Pornind de la necesitatea practică a introducerii tehnologiilor neconvenționale cu ultrasunete, în condițiile reducerii importului, industria trebuie să asigure producerea tuturor componentelor instalațiilor respective.

Din acestea, cele mai grele probleme le ridică realizarea B.U. Modul în care s-au cercetat și produs materialele magnetostrictive precum și transductoarele magnetostrictive la noi în țară, a fost marcat de lipsa unei aparaturi specializate pentru determinarea rapidă a parametrilor. Obținerea caracteristicilor grafice, funcție de frecvență, fără utilizarea acestei aparaturi, impune mai multe măsurări în anumite puncte și prelucrarea ulterioară a datelor. Cu ajutorul aparaturii concepute, aceleași rezultate se obțin în numai câteva secunde.

Probleme similare sînt rezolvate și în cazul încercării de stabilire a unei tehnologii optime de prelucrare. În acest caz mărimile de excitație sînt de tipul "A", "B" sau "C", iar marimile de ieșire sînt anumiți parametri tehnologici. Aparatură de identificare prin posibilitățile ei de schimbare a parametrilor de excitație la un nivel energetic egal cu cel nominal sau chiar superior, permite explorarea rapidă a valorilor ac stoc și stabilirea zonelor de optim în frecvența și putere.

4.4.1. Aplicarea în cercetare.

Obținerea unor materiale magnetostrictive cu anumite performanțe presupune analiza unor eșantioane și efectuarea unor măsurări în condițiile variației anumitor parametri.

În condițiile păstrării constante a dimensiunilor geometrice ale eșantionnelor, diferențele dintre măsurări vor evidenția diferențele ale calității materialului.

Prin excitarea eșantionnelor se urmărește variația unor mărimi caracteristice în funcție de puterea de excitație, de frecvență și ϵ fonă. Aceste mărimi se pot folosi ca atare sau prin prelucrare, cu ajutorul unor circuite specializate, sub forma unor mărimi secundare.

O altă direcție o poate constitui alegerea sau testarea unei anumite forme geometrice a transductorului magnetostrictiv. În acest caz se menține constantă compoziția materialului și se schimbă forma, urmărindu-se un optim în funcție de scopurile propuse. După stabilirea unei anumite forme și a materialului este necesară stabilirea cîmpului de premagnetizare optim, în funcție de modul de excitație care urmează a fi utilizat.

Pentru această etapă structura materialului și forma TM se mențin constante, modificându-se doar cîmpul de premagnetizare.

Pentru a se obține o putere utilă mai mare sau în vederea atingerii altor scopuri, un procedeu des utilizat îl constituie cuplarea mai multor transductoare elementare. Pentru cuplarea mai multor ferite magnetostrictive este necesar ca acestea să fie selecționate după caracteristicile lor și încadrate într-un anumit domeniu de toleranță. Selecția se desfășoară în condiții identice pentru întreg lotul.

O caracterizare semnificativă se realizează prin vizualizarea caracteristicilor amplitudine, frecvență pentru fiecare T.M. și compararea lor. Dacă aceste caracteristici se suprapun, cu anumite toleranțe, feritele respective pot fi cuplate în grupă. Acest procedeu, de lângă avantajul preciziei îl are și pe acela al inductivității, care este crescută în toate etapele de caracterizare și realizare constructivă a S.O.

În fig. 4.11-1 sunt prezentate etapele cercetării pentru realizarea unui S.O.

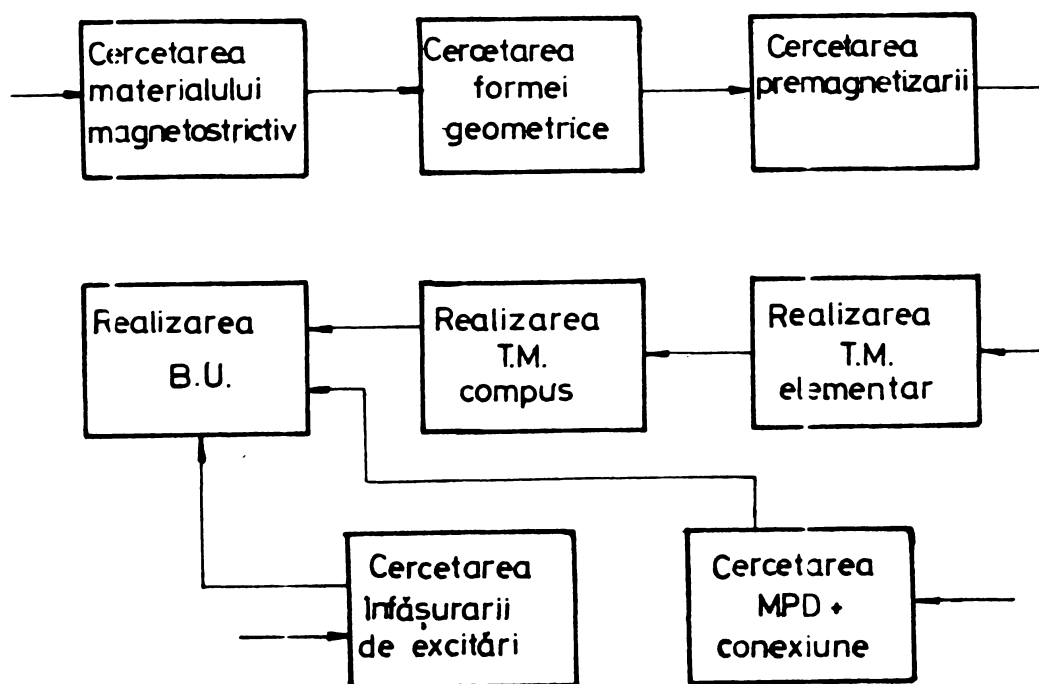


Fig. 4.11-1

Acest sistem de cercetare se poate aplica și în stabilirea calității lipiturii dintre T.M. și M.P.D.V. ^{precum și} în faza fixării B.U., în sistemul de sprijin al instalației tehnologice.

O etapă importantă atât în producerea cât și în exploatarea utilajului tehnologic, o reprezintă montarea sau schimbarea unor piese intermediare, de adaptare, sau așculelor. Practic aceasta se realizează cu "analizoarele de concentrator" și constă în stabilirea precisă a frecvenței de rezonanță.

Aparatura de identificare realizează o caracterizare mult mai completă a B.U., prin redarea unor caracteristici globale.

4.4.2. Aplicarea în industrie.

Aplicarea în industrie a cercetării este posibilă și în faza construirii utilajului tehnologic, și în cea a utilizării lui, a întreținerii și exploatarei.

În construirea B.U. aparatura de identificare este utilă în toate fazele tehnologice și anume:

- stabilirea proprietăților materialului magnetostrictiv
- sortarea feritelor în diverse faze tehnologice
- sortarea transductoarelor magnetostrictive și eventual acordarea lor pe o anumită frecvență.

- verificarea caracteristicilor de răcire L.M. cu medii de propagare diferite.

În aplicarea metodelor aparate este utilă pentru următoarele operații:

- verificarea capacității de funcționare a B.U.
- analiza caracteristicilor în vederea schimbării cu ajustării lor;
- analiza influenței neregulilor unor scule
- influența materialului după prelucrării asupra acusticii B.U.

4.4.5. Stabilirea tehnologiei optime de prelucrare sau înzestrarea performanțelor unor tehnologii.

Possibilitățile de investigație ale aparatului de identificare se pot extinde și asupra zonei tehnologice, în sensul că semnalul de excitație este aplicat acestuia prin intermediul B.U., iar semnalul de răspuns poate fi extras fie prin "reflexia" fenomenelor asupra B.U., respectiv asupra surzăturii de excitație, fie prin metoda energetică a zonei tehnologice.

Pe parcursul evoluției unei prelucrări tehnologice asupra unui produs cu loc modificării ale caracteristicilor acustice ale materialului de lucru, modificări care duc la schimbarea transferului optim de energie și în final la necesitatea unor reglări adaptive. Din alt punct de vedere aceste modificări pot da o indicație asupra etapei de prelucrare și prin aceasta arătând necesitatea schimbării fazei tehnologice sau a întreruperii necesară.

Cu același procedeu de investigație se pot stabili și parametrii optimi de excitație, realizându-se prescrierea acestora în funcție de proprietățile materialului și caracteristicilor excitării. În acest sens este cel mai necesar ca este realizarea unor caracteristici tehnologice, alternativ cu rețineri de identificare, evidențindu-se în diferite etape parametrii ultraacustici de prelucrare.

Prin cunoașterea parametrilor B.U. și ai zonei tehnologice se pot stabili și procedee de îmbunătățire a unor tehnologii, ceea ce semnalul de identificare se face la puteri egale cu

cele nominale sau chiar superioare.

În final se poate afirma că utilizarea aparaturii de identificare în domeniul cercetării și utilizării tehnologiei cu ultrasunete este o condiție a îmbunătățirii calității produselor, a creșterii fiabilității și a productivității muncii, precum și a reducerii prețului de cost.

4.5. APLICATII PRACTICE ALE UTILIZARII APARATURII DE IDENTIFICARE

Caracterizarea în frecvență a unor blocuri ultrasonice

În majoritatea experimentelor s-a urmărit obținerea cu ajutorul aparaturii de identificare a unor caracteristici în frecvență și anume ale amplitudinii oscilației sau cea a puterii medii consumate. Semnalele de excitație sînt de tipul "A" evidențiate simbolic în fig. 4.2. Aceste semnale au fost aplicate unor BU simple formate dintr-un TM elementar sau unora formate din mai multe TM cuplate la un singur MPD. Tipurile de BU studiate sînt prezentate în fig. 4.12, 4.13, 4.14, 4.15.

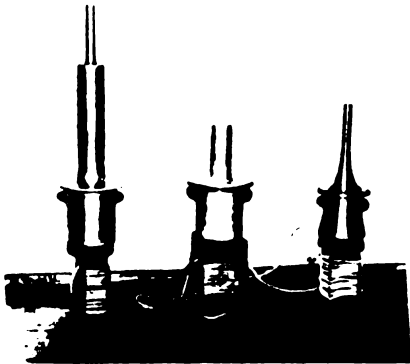


Fig. 4.12

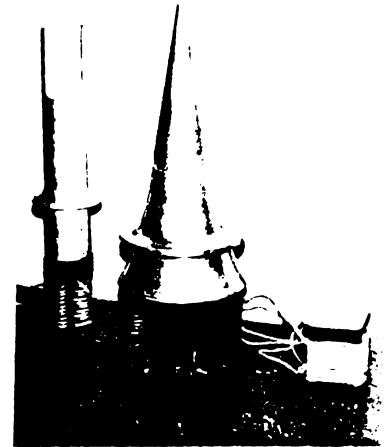


Fig. 4.13



Fig. 4.14



Fig. 4.15

Baleiajul în frecvență s-a făcut în bandă largă, situație în care pe axa frecvenței apar mai multe zone de rezonanță corespunzând unuia sau mai multor moduri fundamentale. Acelaș mod fundamental poate apărea de două sau mai multe ori fiind excitat de subarmonici.

Semnalul de răspuns în cazul evidențierii amplitudinii oscilației și a puterii medii consumate are în general forma din fig. 4.15 - 1.

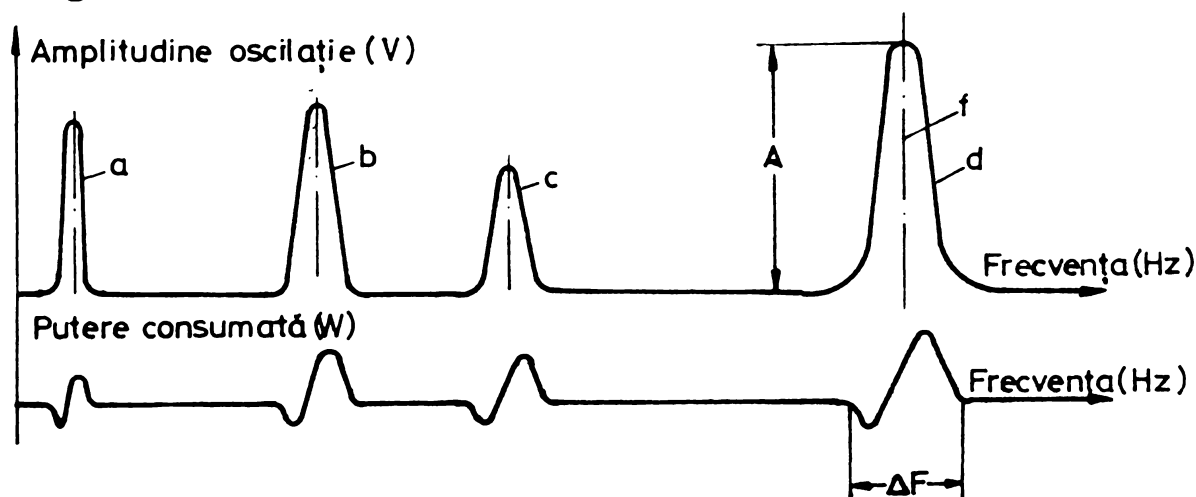


Fig. 4.15 - 1

Curbele .a', .c', .d' reprezintă modul fundamental longitudinal de rezonanță excitat pentru .d' cu o frecvență egală cu cea de oscilație iar ^{pentru} .a' și .c' cu primele două subarmonici. Curba .b' reprezintă modul fundamental de contur, .f' este marcatorul de frecvență. Se poate observa că informații asupra zonei de rezonanță ΔF se pot obține atât din prima cât și din a doua categorie de curbe. Amplitudinea curbei A poate fi pusă în relație de directă proporționalitate cu puterea utilă cu condiția menținerii constante a sarcinii mecanice. Forma curbei poate da informații atât asupra factorului de calitate cât și asupra coeficientului de cuplaj electroacustic.

4.5.1 Studiul unor BU formate din ferite magnetostrictive fără MPD

Aceste BU sînt prezentate în fig. 4.15. În fig. 4.16 este prezentată caracteristica amplitudine-frecvență la un baleiaj de la 2 kHz la 20 kHz. Se pot observa patru curbe distincte. Prima, a treia și a patra reprezintă modul de oscilație fundamental longitudinal obținut prin excitare cu a doua subarmonică, cu pri-

ma, respectiv cu fundamentala. A doua curbă reprezintă oscilații de contur. In fig. 4.17 este prezentată răspunsul aceleiaș ferite dar cu un baleiaj de numai 10 kHz.

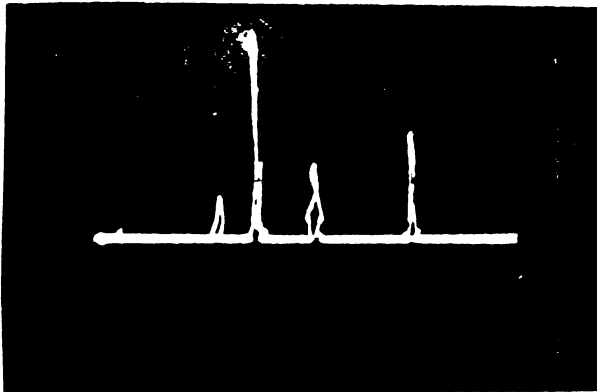


Fig. 4.16

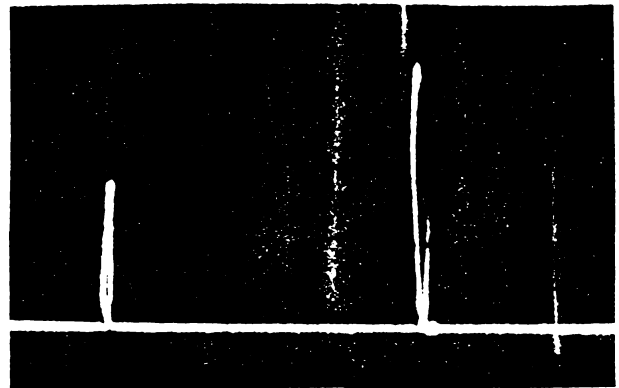


Fig. 4.17

Modul fundamental longitudinal este excitat de frecvența fundamentală și de prima subarmonică.

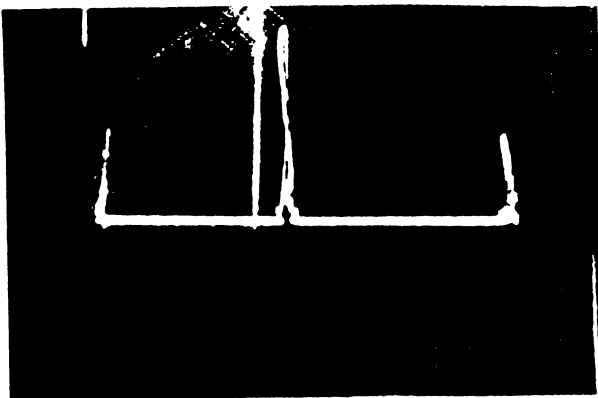


Fig. 4.18

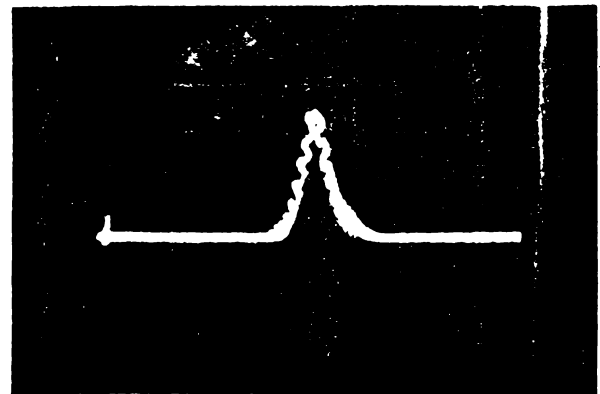


Fig. 4.19

In fig. 4.18 se prezintă un baleiaj de aproximativ 5 kHz excitat simetric față de zona de rezonanță fundamentală longitudinală. In fig. 4.19 zona de baleiaj este îngustată la aproximativ 2kHz, în acest caz observându-se în mod detaliat curba de răspuns exprimând în acest caz anvelopa oscilației. In aceste experimentări excitația a fost de tip asimetric iar măsurile utile s-au extras direct de pe înfășurările de excitație. Feritele nu au avut sarcină mecanică.

4.5.2 Studiul modificării caracteristicii amplitudine-frecvență în funcție de schimbarea sarcinii mecanice

La aplicarea unei sarcini mecanice TM apar modificări atât în sensul scăderii amplitudinii oscilației cât și al deplasării zonei de rezonanță către frecvențe mai mici. In această experiență parametrii excitației au fost menținuți constanți pentru cele

3 cazuri prezentate simultan în fig. 4.20.

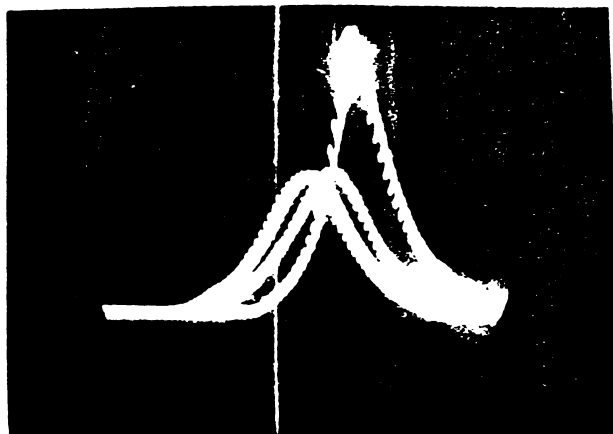


Fig. 4. 20

4.5.3 Sortarea și acordarea feritelor magnetostrictive

Producția de ferite magnetostrictive din țara noastră întâmpină în prezent mai multe neajunsuri dintre care cel mai important este acela al dispersiei foarte mari a parametrilor. Dintre acestea menționăm frecvența de rezonanță, factorul de calitate mecanic și coeficientul de cuplaj magnetoacustic. Această dispersie a parametrilor constituie la rândul ei o greutate mare în construirea BU ale căror elemente sînt riguros dimensionate pentru o frecvență fixă. Pentru atingerea unor parametri constructivi sau funcționali ai BU uneori este necesară cuplarea în paralel a mai multor ferite, acțiune sortită eșecului dacă nu este asigurată o egalitate riguroasă a caracteristicilor elementelor componente. În această situație se ivesc două categorii de probleme și anume aceea a reducerii dispersiei unor parametri și aceea a selecționării feritelor cu caracteristici identice.

Dispersia parametrilor se datorează anumitor deficiențe tehnologice dintre care pe primul plan se situează lipsa de simetrie geometrică și neomogenitatea materialului magnetostrictiv.

Aparatura de identificare își poate aduce o contribuție importantă atît în unele faze tehnologice cît și în sortarea sau chiar acordarea feritelor. Astfel în cazul feritelor 2 I se poate asigura o sortare a I-urilor componente încă înainte de asamblarea prin lipire. Dacă la o ferită finisată posibilitatea îmbunătățirii factorului de calitate și a coeficientului electroacustic este exclusă, rămîne posibilitatea acordului frecvenței de rezonanță, suprapunîndu-i zona de rezonanță cu cea a unei ferite maftor.

Aparatura de identificare permite acordul unei ferite prin adăugare sau eliminare de material din masele pasive, sub control vizual cu ajutorul osciloscopului pe care se afișează simultan caracteristicile acestora și cele ale feritei martor.

Acordul se execută cu instalația prezentată schematic în fig. 4.20 - 1.

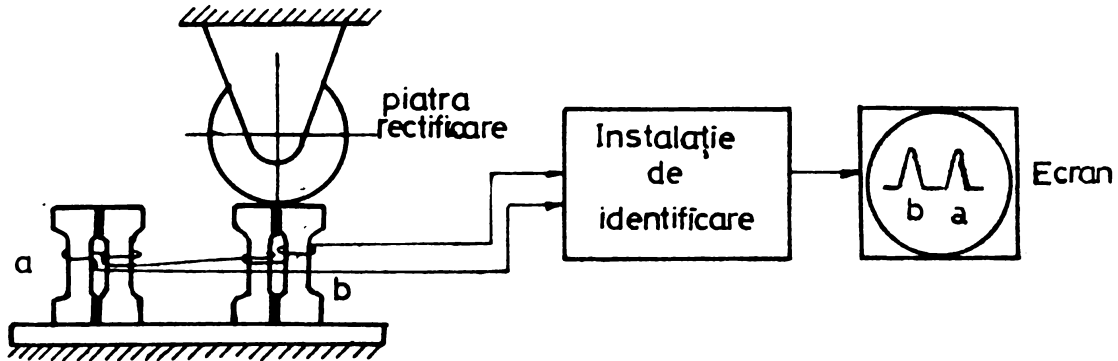


Fig. 4.20 - 1

Instalația constă dintr-o mașină de rectificat pe masa căreia se fixează atât ferita martor "a" cât și ferita care trebuie acordată "b". Intotdeauna ferita "b" trebuie să aibă frecvența de rezonanță inferioară celei martor. Dacă această condiție nu este îndeplinită se adaugă prin lipire material care îi va scădea frecvența. La fiecare cursă a pietrei abrazive se înlătură o cantitate de material iar caracteristica "b" se deplasează spre "a", operațiunea continuând pînă la suprapunerea celor două caracteristici. Acelaș procedeu se poate aplica și feritelor I înainte de asamblare.

În cazul sortării feritelor se urmărește atât suprapunerea zonelor de rezonanță cât și egalitatea suprafețelor acestora din urmă. În operațiunea de sortare pot apărea situațiile evidențiate în fig. 4.20 - 2.

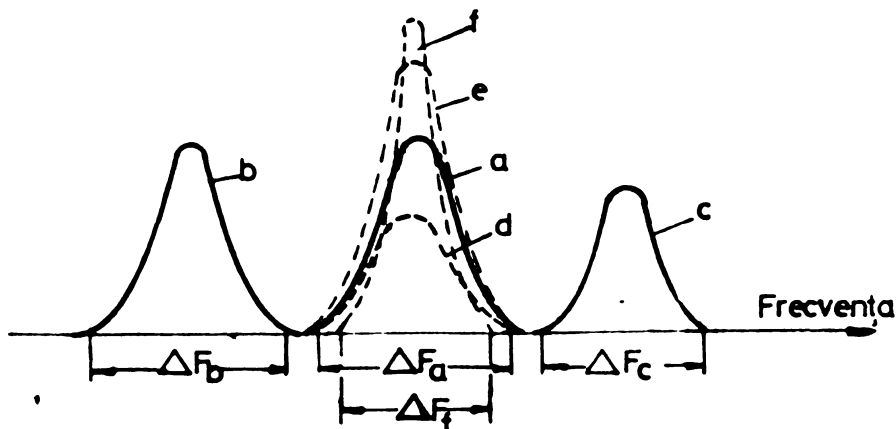


Fig. 4.20 - 2

a = caracteristica feritei martor

b = ferită cu $f_b < f_a$, $Q_b = Q_a$, $\Delta F_b > \Delta F_a$

c = ferită cu $f_c > f_a$, $Q_c = Q_a$, $\Delta F_c = \Delta F_a$

d = ferită cu $f_d = f_a$, $Q_d < Q_a$, $\Delta F_d = \Delta F_a$

e = ferită cu $f_d = f_a$, $Q_e < Q_a$, $\Delta F_d = \Delta F_a$

f = ferită cu $f_d = f_a$, $Q_f > Q_a$, $\Delta F_d < \Delta F_a$

unde f = frecvența corespunzătoare maximului curbei amplitudine-frecvență

Q = factorul de calitate electromecanic

ΔF = lățimea zonei de rezonanță.

Prin operațiunea de acord se poate realiza doar condiția $f_i = f_a$, suficientă într-un mare număr de aplicații. Dacă însă se impun și condițiile $Q_a = Q_i$ și $\Delta F_a = \Delta F_i$ atunci singura soluție este selecționarea lor dintr-un număr mai mare de ferite în limitele respectării anumitor toleranțe de egalitate.

În fig. 4.21 și 4.22 sînt reprezentate simultan caracteristicile amplitudine-frecvență a două ferite aparent identice (fig. 4.15).

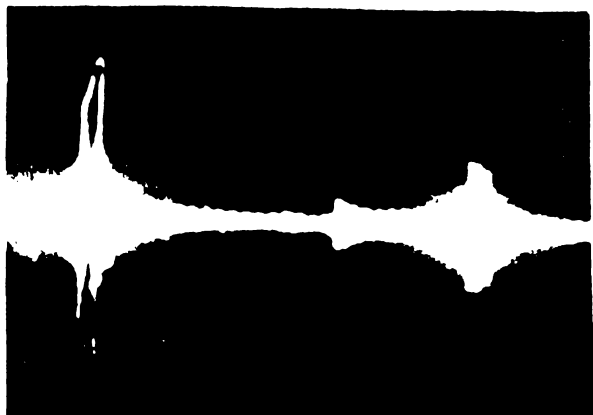


Fig. 4.21

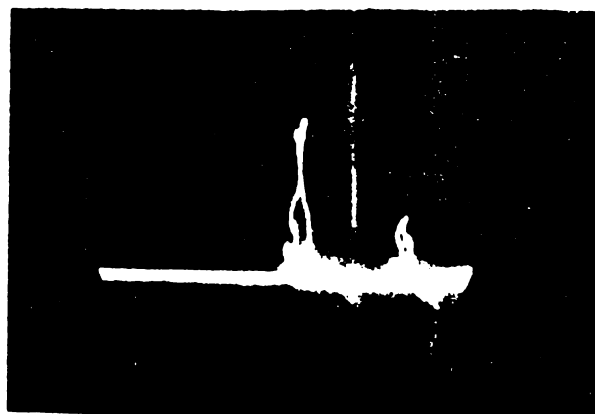


Fig. 4.22

În fig. 4.21 se prezintă oscilația iar în fig. 4.22 anvelopa oscilației, cu baze de timp diferite. Pentru a crea condițiile identice de excitație pe cele două ferite s-au bobinat înfășurări identice iar acestea pentru a fi parcurse de același curent au fost legate în serie.

În concluzie se poate afirma că vizualizarea caracteristicilor amplitudine-frecvență poate oferi o metodă deosebit de productivă în selectarea și acordul feritelor.

4.5.4. Sortarea și acordarea unor BU simple în scopul cuplării lor în paralel la realizarea unor BU complexe

pentru obținerea unor puteri sporite sau în realizarea unei anumite distribuții a energiei ultrasonore în zona tehnolo-

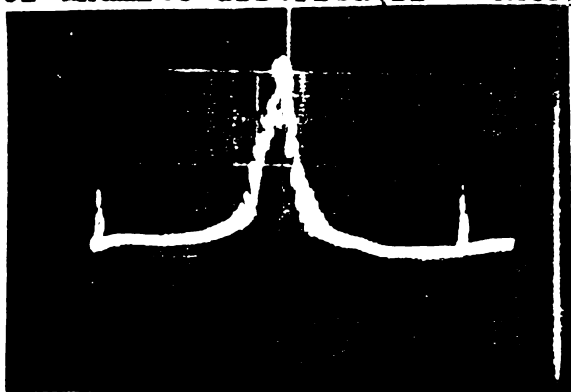


Fig. 4.23

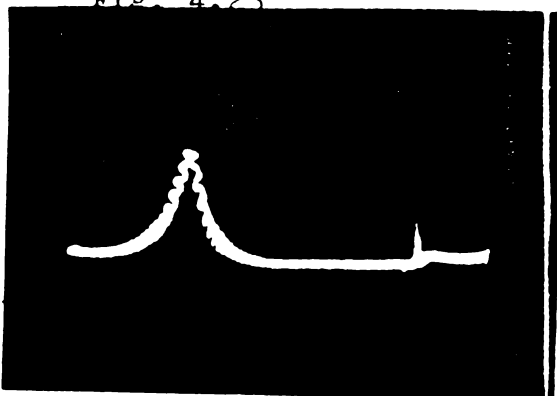


Fig. 4.24

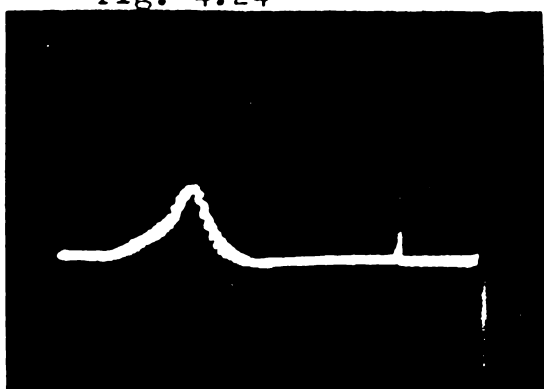


Fig. 4.25

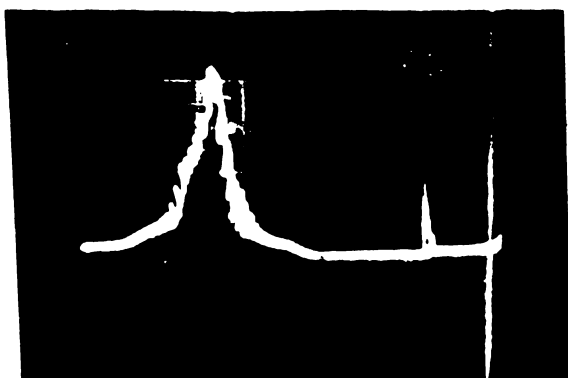


Fig. 4.26

gică se folosește metoda cuplării mai multor BU elementare. În fig. 4.14 sînt prezentate patru BU realizate în condiții tehnologice identice. În fig. 4.23, 4.24, 4.25, 4.26, sînt prezentate caracteristicile lor amplitudine-frecvență. Erupția pozitivă din partea dreaptă a fiecărei fotografii este un reper în frecvență avînd aceeași valoare, distanța între reper și fiecare curbă exprimînd valoarea frecvenței. Se poate observa că diferă atît amplitudinea oscilațiilor cît și poziția zonei de rezonanță. Cuplarea acestor BU elementare nu va asigura rezultatele scontate decît după acordul lor în frecvență și eventual, în anumite cazuri printr-o distribuție inegală a puterilor de excitație. Operațiunea de acord în frecvență se realizează conform celor arătate în punctul anterior iar cea de distribuție inegală a puterii prin numărul de spire al înfășurării de excitație.

4.5.5 Analiza concentratoarelor

Concentratorul ca MPD are drept funcții transportul și concentrarea energiei ultrasonore la sculă sau în zona tehnologică și fixarea mecanică a întregului bloc ultrasonic. Stabilirea corectă a dimensiunilor acestuia are influență atât asupra pierderilor de energie în zona de fixare, care trebuie să se găsească într-un nod, cât și asupra amplitudinii vibrației la capătul dinspre sculă. Aceste performanțe sînt îndeplinite numai pentru o anumită frecvență. Unele concentratoare sînt compuse din mai multe segmente, unele interschimbabile în scopul înlocuirii lor sau al realizării adaptării acustice odată cu schimbarea sculei. Construirea unui concentrator, a unor segmente sau scule presupune ca operațiune finală acordarea la frecvența de rezonanță impusă.

Prin această operațiune se urmărește ajustarea dimensiunilor pentru ca acestea intrînd în alcătuirea unui BU să nu modifice frecvența de rezonanță a acestuia. În analizoarele de concentratoare folosite pînă în prezent se utilizează un concentrator sau o sculă martor care se montează la un bloc ultrasonic și se măsoară frecvența de rezonanță, apoi se montează în acelaș loc piesa care trebuie ajustată și prin modificări succesive ale dimensiunilor acesteia se aduce valoarea frecvenței de rezonanță la valoarea anterioară.

Aparatura pentru identificare realizată oferă două metode pentru analiza concentratoarelor.

1. Măsurarea frecvenței de autorezonanță

Autorezonanța este un procedeu de menținere a oscilației BU prin utilizarea ca oscilator pilot chiar a oscilatorului mecanic format din TM și concentrator. Un excitator poate lucra în regim de autorezonanță cu condiția utilizării unui factor de umplere de 50% T și cu cea a asigurării prin intermediul sistemului RAØ, a unei faze de 25% T raportată la începutul impulsului de excitare.

Acordul se execută în următorul mod;

- se determină cu ajutorul unui frecvențmetru cifric frecvența de autorezonanță a piesei martor "a" fig. 4.26.1 cuplată la TM printr-un procedeu de asamblare demontabilă;

- se cuplează apoi piesa care trebuie acordată "b" în acelaș loc și prin ajustări și măsurări succesive se aduce frecvența de autorezonanță la valoarea celei determinate cu piesa martor.

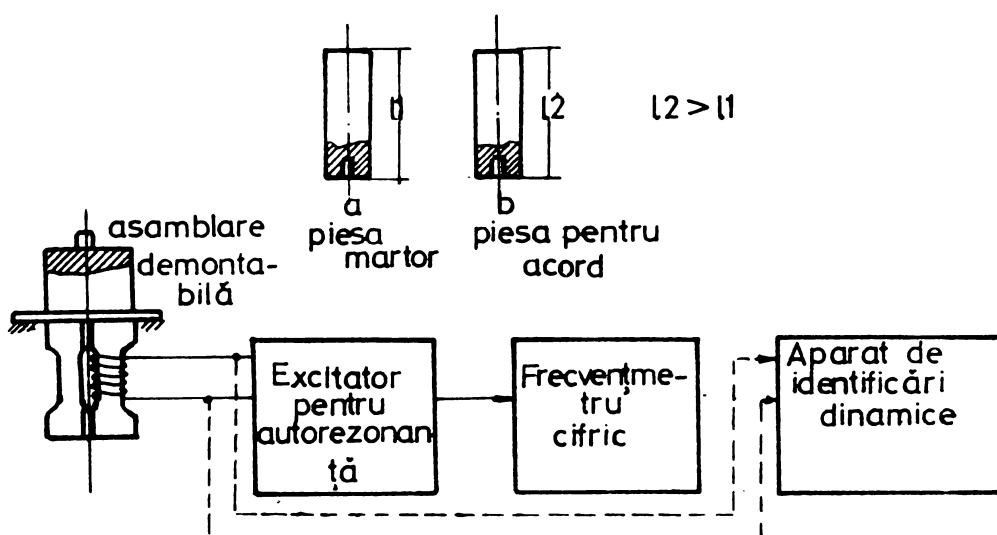


Fig. 4.26 - 1

Acest procedeu este indicat pentru produse de serie mică avînd ca dezavantaj necesitatea montării-demontării piesei "b" pentru fiecare ciclu de măsurare-ajustare, fiind în schimb deosebit de simplu din punct de vedere constructiv.

Pentru realizarea acordului unor produse de serie mare se propune procedeul din fig. 4.26 - 2.

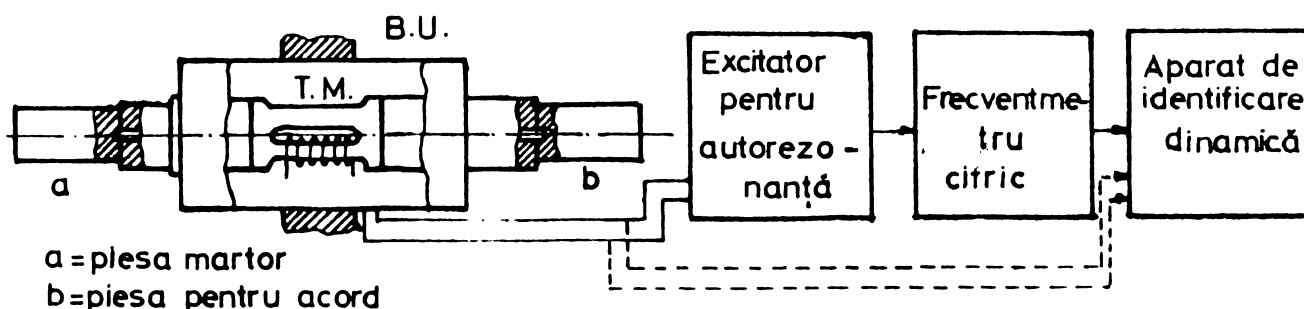


Fig. 4.26 - 2

În acest caz BU este simetric, cu 2 capete de asamblare, la un cap montîndu-se piesa "a" iar la celălalt piesa "b". Se determină frecvența de autorezonanță cu piesa "a" montată și cu "b" demontată. Apoi se montează piesa "b" și prin ajustări succesive care se execută fără demontarea ei, frecvența se aduce din nou la valoarea inițială. BU este de construcție robustă și poate fi prins în universalul unui strung sau în sistemul de prindere al altui tip de mașină unealtă folosită în ajustări mecanice.

2. Se vizualizează caracteristica amplitudine-frecvență atât pentru piesa martor cât și pentru cea care trebuie acordată. Egalitatea celor două caracteristici indică terminarea operațiunii de ajustare. Această metodă este mult mai completă deoarece oferă indicații și asupra factorului de calitate electromecanic al piesei prelucrate. Aspectul caracteristicilor este asemănător cu cele din fig. 4.23 - 4.26.

Si această metodă se poate realiza prin cele 2 procedee expuse la punctul anterior și ilustrate în fig. 4.26-1 respectiv 4.26 - 2.

În cazul în care BU execută mișcări de rotație legătura electrică trebuie realizată printr-un colector de curent.

Trebuie subliniat faptul că aceste procedee de acord pot fi realizate cu orice tip de excitator din cele prezentate în capitolele anterioare, cu condiția ca acesta să fie dotat cu sistem RAØ. Măsurarea frecvenței trebuie să se facă cu un frecvențmetru cifric, precizia acordului depinzând de precizia acestuia din urmă.

4.5.6 Acordul feritelor la frecvența de rezonanță a unui concentrator oarecare

În mod practic pot apărea 2 probleme de acord ferite - concentratoare și anume;

- există un lot de ferite cu o anumită dispersie a parametrilor și trebuie realizat un concentrator care să fie asamblat cu ferite din acest lot;

- există un concentrator deja construit, rezultat eventual dintr-un BU ale cărui ferite s-au spart, care trebuie să fie asamblat cu una sau mai multe ferite.

În ambele cazuri se ridică problema aducerii celor 2 categorii de elemente la aceeași frecvență. Reacordarea unui concentrator este o problemă mult mai dificilă decât cea a acordului unei ferite deoarece trebuie îndeplinite simultan două condiții și anume: amplitudine maximă la vârful lui și amplitudine 0 în zona de prindere. În această situație este de preferat acordul feritei prin unul din procedeele arătate anterior însă cu respectarea restricțiilor impuse de faptul că ajustarea finală a acordului se execută când aceasta este lipită de BU. Organigrama acordului este prezentată în fig. 4.26 - 3.

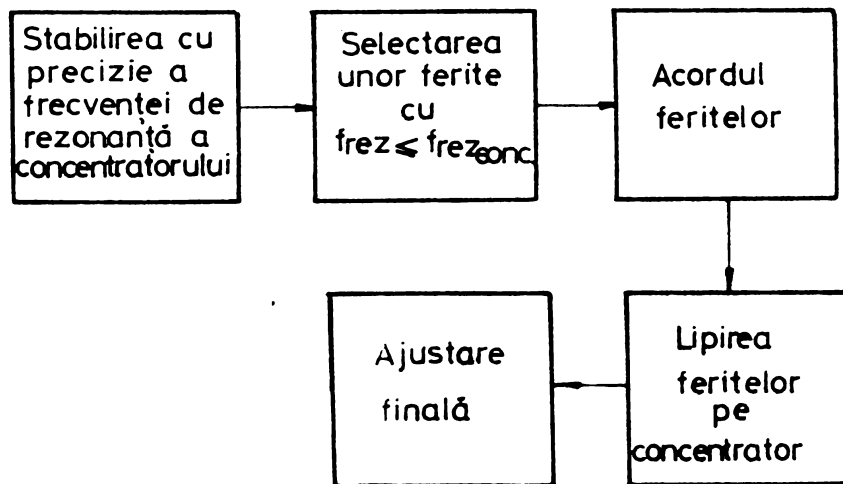


Fig. 4.26 - 3

Operațiunea se consideră terminată atunci când frecvența de autorezonanță este egală cu frecvența de rezonanță inițială a concentratorului.

4.5.7 Acordul concentratoarelor la o anumită frecvență de rezonanță

Pentru ca un concentrator să funcționeze în condiții de transfer optim către sculă sau către zona tehnologică este necesar ca acesta să asigure o valoare maximă a amplitudinii la capul dinspre sculă și o valoare minimă a acesteia în sistemul de prindere (fig. 4.26 - 4)

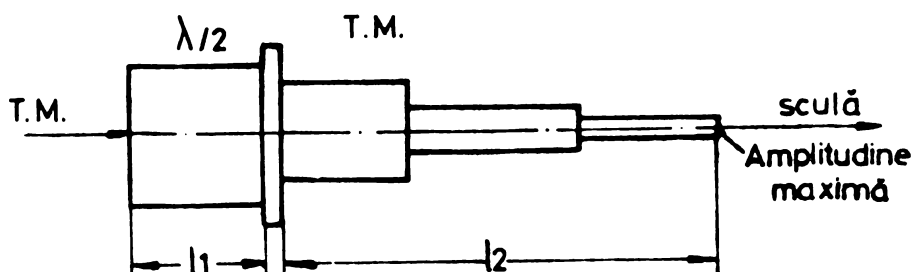


Fig. 4.26 - 4

Practica a demonstrat că chiar și în condițiile unei proiectări riguroase și a unei execuții îngrijite nu se realizează întotdeauna condițiile de mai sus. Pentru a fi posibilă o ajustare ulterioară este necesar ca lungimile l_1 și l_2 să fie mai mari decât cele rezultate prin proiectare cu 5% - 10%, în func-

ție de corectitudine a proiectării și execuției. Se realizează instalația din fig.4.26-5, formată dintr-un BU cu IM și MPD de tip concentrator, cu inel de fixare "1" și dintr-o masă pasivă "2", fixată prin sistemul de prindere "3" destinată acordului mecanic în frecvență. MPD "1" are în componență și un sistem de fixare "4" a concentratorului care trebuie acordat, prin șurub.

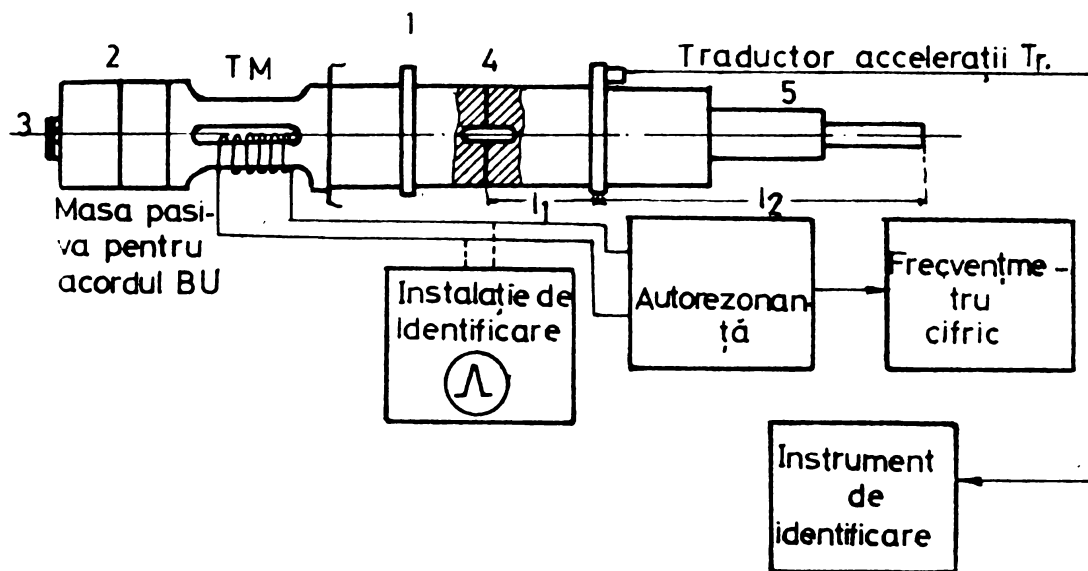


Fig.4.26 - 5

Pentru a se realiza acordul pe diferite frecvențe de rezonanță a BU este necesar să se schimbe valoarea masei pasive "2". În acest sens există un set de piese interschimbabile în sistemul de prindere "3", care diferă între ele prin masă. Trecerea de la o frecvență la alta prin schimbarea masei pasive se face în salturi care pot fi făcute oricât de mici, în funcție de diferența de masă a pieselor de tip "2".

Trebuie evidențiat faptul că BU excitator are posibilitatea de reaccordare limitată la o gamă de frecvențe, aleasă constructiv în concordanță cu frecvența concentratorului "5".

Dacă tipurile de concentratoare se înscriu într-o gamă mai largă de frecvențe este necesar să existe mai multe BU excitatoare, fiecare din ele cu altă zonă de rezonanță.

Metoda de acord este descrisă mai jos.

Se fixează concentratorul "5" cu sistemul "4" și cu ajutorul masei pasive "2" se aduce frecvența de autorezonanță la valoarea dorită. Dacă lungimea l_1 este corectă traductorul T_r trebuie să indice valoarea zero. Dacă aceasta indică o anumită valoare, se demontează concentratorul și se înlătură o anumită cantitate de materiale din zona dinspre I.A. (fig.4.26-4) micșorându-se l_1 după care se montează, apoi din masa pasivă se reacordează întregul

ansamblu la valoarea inițială a frecvenței și așa mai departe, pînă cînd valoarea indicației traductorului devine zero. Ca element de indicare a acordului se poate utiliza aparatura de identificare care acționează cu un semnal de excitație tip "A" pe subarmonica "10" pentru a se cîștiga în precizie, prin faptul că întreg BU oscilează liber un interval de 90% din timpul total de oscilație.

Pentru stabilirea corectă a lungimii l_2 există două procedee și anume:

a) cuplarea capului dinspre sculă către BU, în cazul că sistemul de asamblare permite; executarea acordului se face ca și pentru cazul lui l_1 ;

b) utilizarea unui concentrator martor și aplicarea unuia din procedeele prezentate în subcapitolul 4.55.

4.5.8 Cercetări asupra diferitelor BU

Cu ajutorul aparatului de identificare au fost efectuate mai multe experimente în scopul evidențierii unor mărimi caracteristice pentru BU și a schimbărilor care intervin în diferite situații.

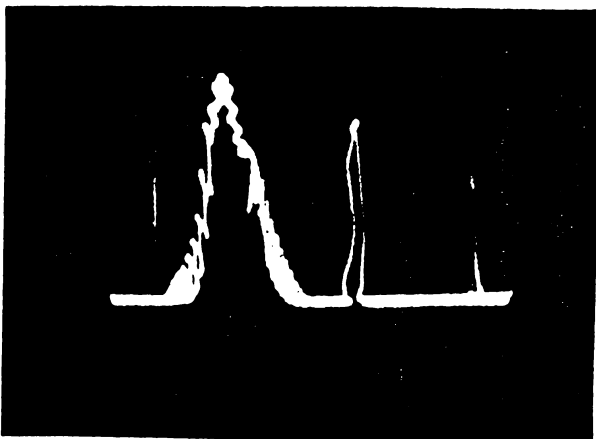


Fig. 4.27

că în acest caz zona de rezonanță se deplasează în sensul creșterii frecvenței.

În fig. 4.28 este reprezentată o experiență similară cu

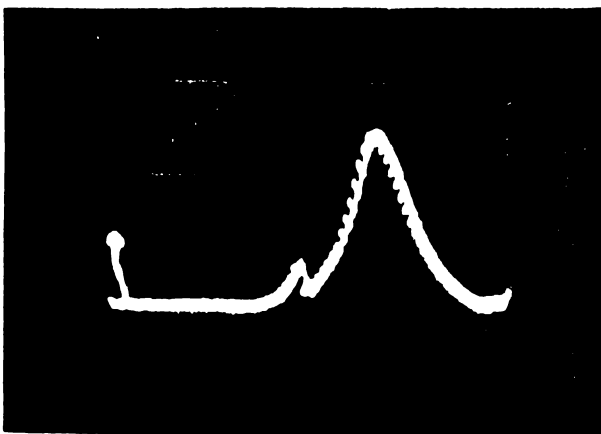


Fig. 4.28

În fig. 4.27 se prezintă caracteristica amplitudine-frecvență a unei ferite simple, în stînga și a unei ferite cu concentrator (fig. 4.12)

în dreapta. Se observă o îngustare considerabilă a zonei de rezonanță și o ușoară diminuare a factorului de calitate. Se observă

BU din fig. 4.13 primul din dreapta. Se observă două caracteristici una mai mică și mai îngustă, situată în stînga altelei mai late și de amplitudine mai mare. Prima reprezintă caracteristica ^{cuplet} TM la concentrator iar a doua pe cea a unui TM liber înainte de a fi lipit de concentrator.

În ipoteza că energia de excitație este de valoare mai mică și sarcina mecanică este constantă, amplitudinea oscilației este proporțională cu puterea utilă. Dacă tensiunea de alimentare a etajului final este constantă valoarea medie a curentului este proporțională cu puterea consumată.

. / .

În fig. 4.29 este prezentată o curbă care exprimă o valoare direct proporțională cu puterea utilă, iar în fig. 4.30 este o curbă a puterii medii consumate.

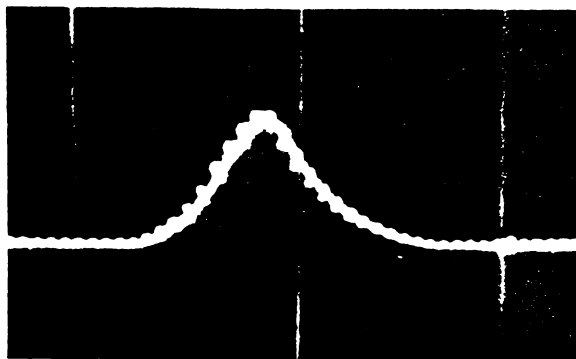


Fig. 4.29

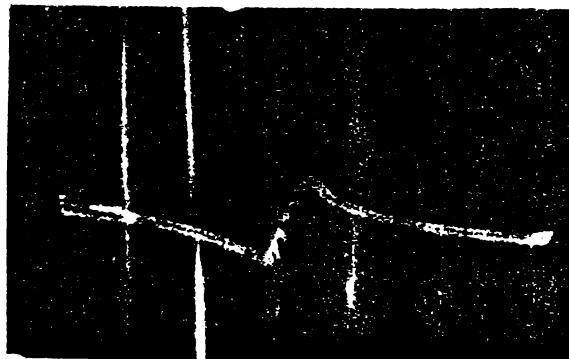


Fig. 4.30

În fig. 4.31 este prezentată evoluția oscilației la capătul concentratorului, obținută cu ajutorul unui traductor. Se poate observa că această reprezentare confirmă corespondența biunivocă între mărimile obținute prin extragerea semnalului util direct de pe înfășurarea de excitație (fig. 4.29) cu cea extrasă printr-un traductor (fig. 4.31).

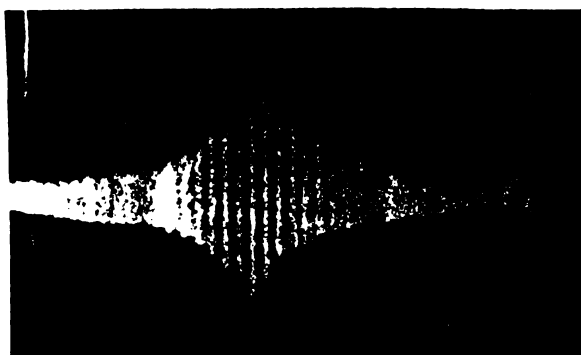


Fig. 4.31

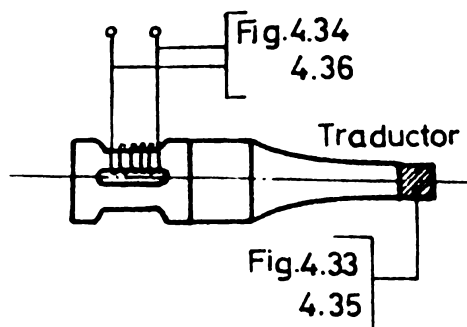


Fig. 4.32

În figura 4.32 se prezintă modul în care s-au obținut graficele din fig. 4.33, 4.34, 4.35 și 4.36. Si aceste experimente sînt, pe lîngă evidențierea fenomenului în sine, un argument al posibilității de utilizare a propriei înfășurări de excitație a BU pentru obținerea unor semnale utile referitoare la starea de oscilație a BU, în locul unor traductoare plasate în diferite puncte ale sale. Echivalența nu este numai calitativă existînd și proporționalitate între cele două categorii de reprezentări, dacă se respectă anumite condiții de transformare.



Fig. 4.33

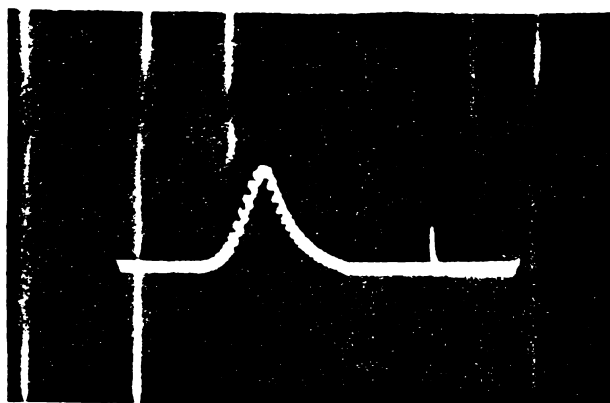


Fig. 4.34

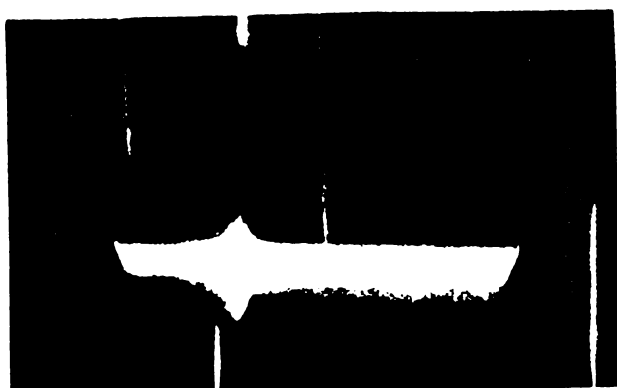


Fig. 4.35

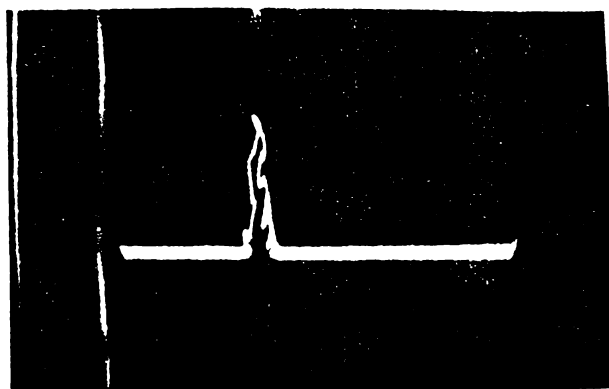


Fig. 4.36

4.5.9 Determinarea înălțimii lichidului în băile cu ultrasunete în scopul măririi eficienței procedurii de curățire

Băile de spălare cu ultrasunete pot fi formate din unul sau mai multe TM asamblate la o cuvă în care se găsește lichidul de spălare și unde au loc procesele tehnologice ale curățirii (fig. 4.37, 4.38).

O cercetare a caracteristicilor amplitudine-frecvență, (fig. 4.39, 4.40, 4.42, 4.43) și a celor putere consumată-frecvență, (fig. 4.41 și 4.44) evidențiază caracterul complex al rezonanței "în gol" al băilor, cu mai multe puncte de maxim în zona de rezonanță determinate, pe de o parte de forma geometrică, cu mai multe dimensiuni ale cuvelor și pe de altă parte de faptul că feritele cuplate în paralel (fig. 4.38) nu au aceeași frecvență de rezonanță

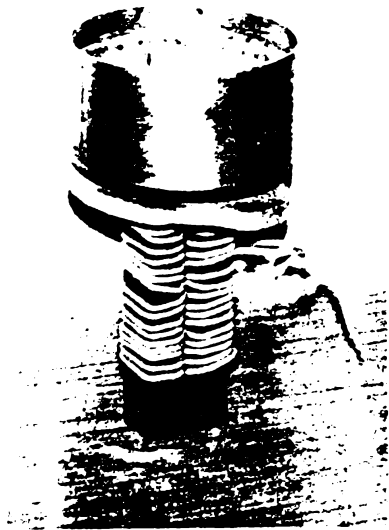


Fig.4.37

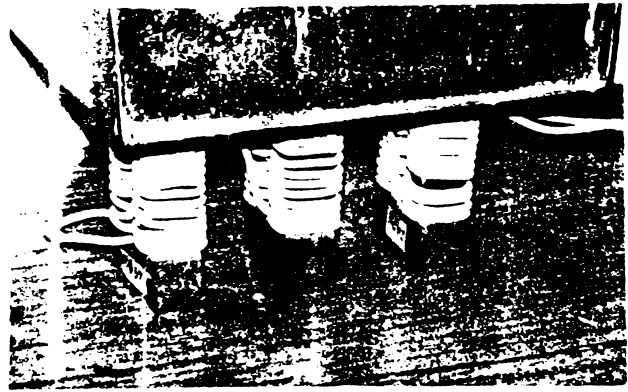


Fig. 4.38

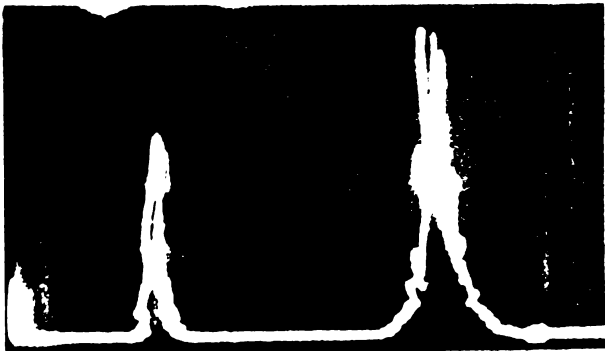


Fig. 4.39

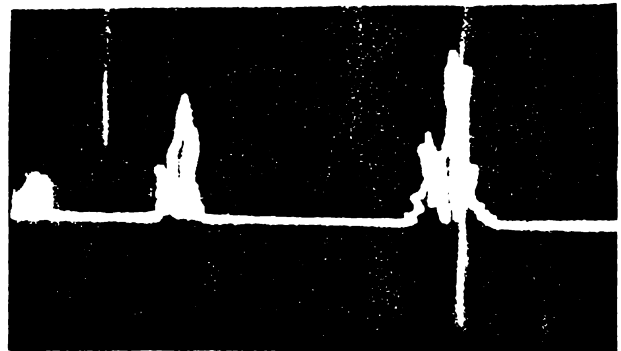


Fig. 4.42

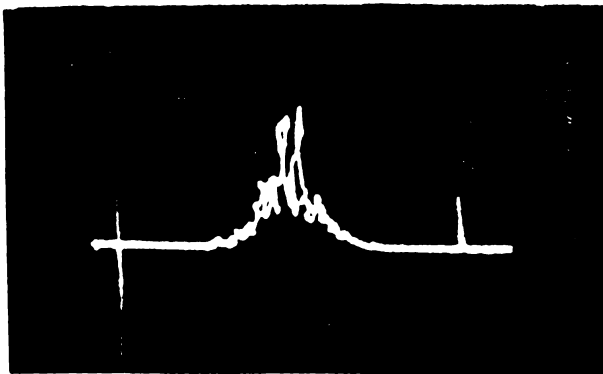


Fig. 4.40

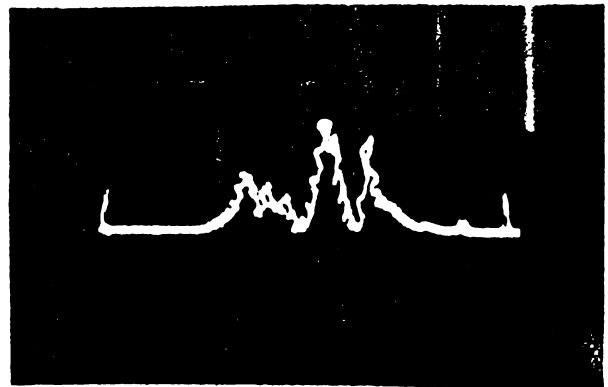


Fig. 4.43

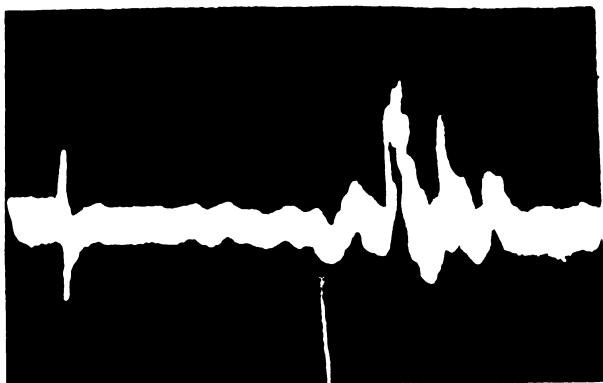


Fig. 4.41



Fig. 4.44

Pentru a se evidenția efectul înălțimii lichidului asupra amplitudinii oscilației, în cuva băii din fig. 4.37 s-au turnat succesiv cantități de lichid care au ridicat nivelul cu 1 cm. pentru fiecare măsurare. Rezultatele sînt prezentate în fig. 4.45 - 4.52.

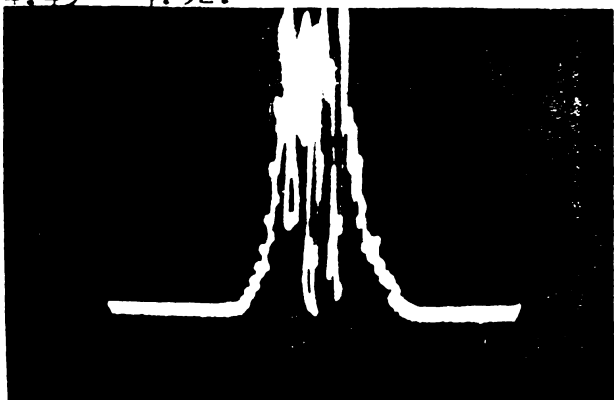


Fig. 4.45

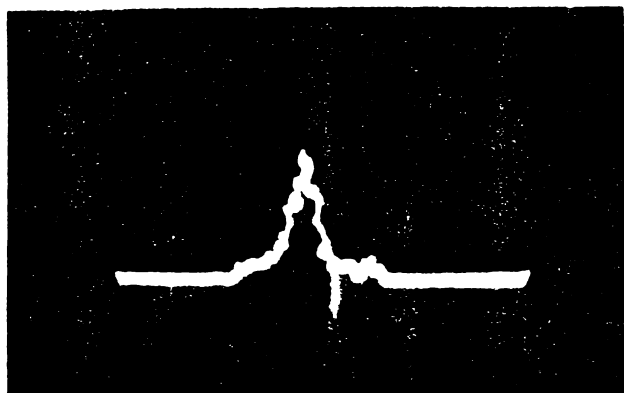


Fig. 4.46

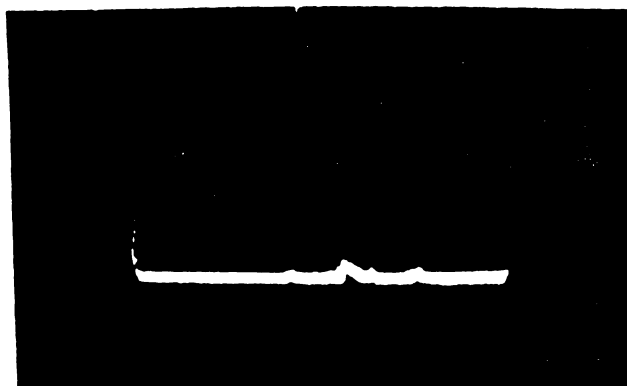


Fig. 4.47

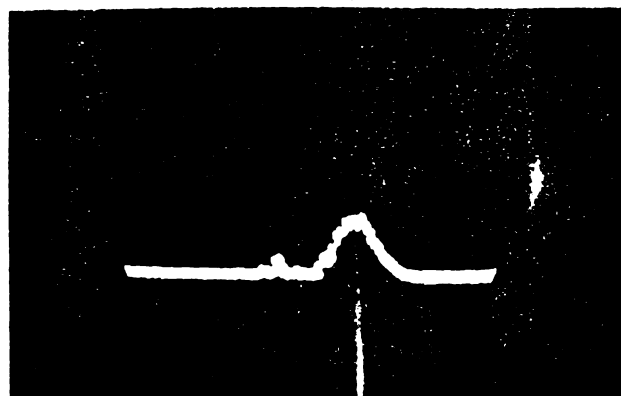


Fig. 4.48

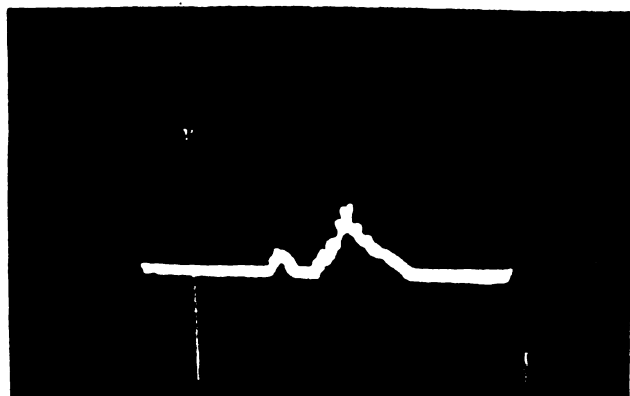


Fig. 4.49

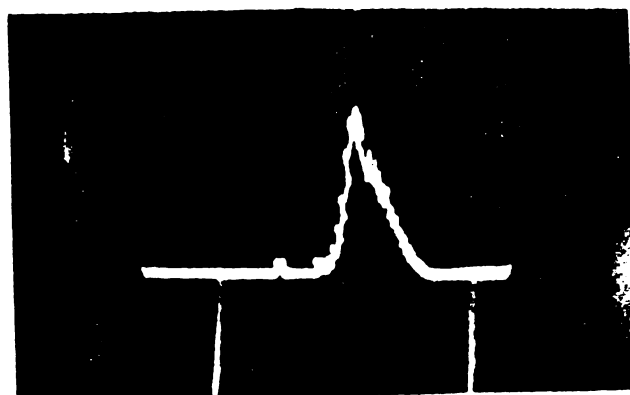


Fig. 4.50

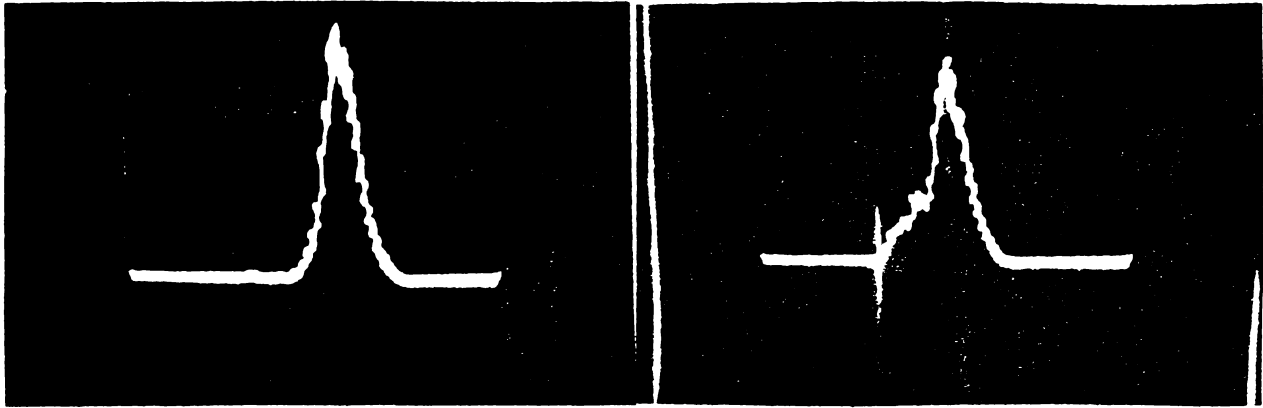


Fig. 4.51

Fig. 4.52

Parametrii energetici ai excitației au fost menținut constanti pentru toate măsurările. Rezultatele sînt prezentate sintetic în fig. 4.53

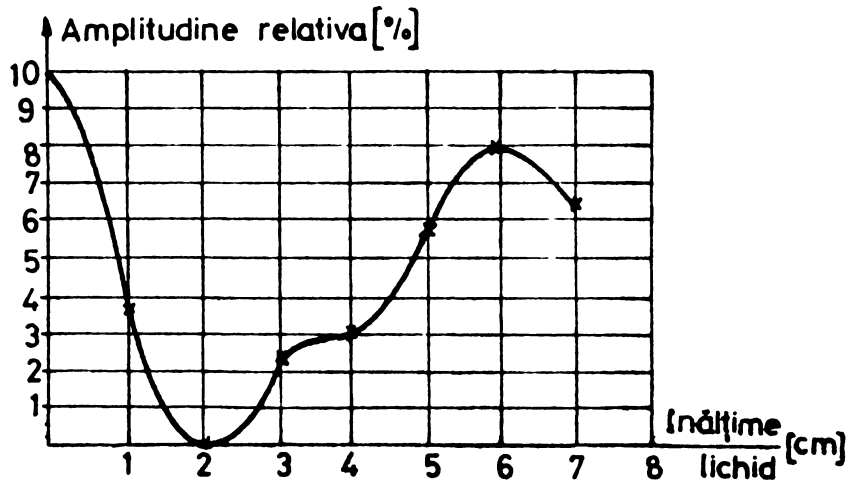


Fig. 4.53

La înălțimea de 2 cm. întreaga energie pompată este absorbită de lichid. La 7 cm. amplitudinea vibrațiilor din lichid are valoare maximă. Prezența pieselor modifică această distribuție, motiv pentru care este indicată de erminarea înălțimii optime pe categorii de piese și lichide ^{de} spălare, pentru asigurarea unei eficiențe maxime a procedului.

. / .

Se poate concluziona că utilizarea aparaturii de identificare oferă posibilitatea perfecționării constructive a majorității tipurilor de blocuri ultrasonice prin măsurări în diferite etape tehnologice ale realizării lor mai ales prin aceea că se oferă procedee sigure de ajustare și acord pe frecvențele dorite. Imbunătățirea tehnologiei de fabricație este aplicabilă tuturor părților componente, de la ferita magnetostrictivă până la diversele tipuri de scule.

Aparatura de identificare oferă și posibilitatea stabilirii optime a unor parametri tehnologici sau a regimurilor optime de excitație ale unor BU.

Aparatura de identificare este un ajutor prețios și în cercetarea legată de realizarea feritelor magnetostrictive, a blocurilor ultrasonice a optimizării unor tehnologii.

5. CONCLUZII FINALE

Cercetările care au avut drept punct de plecare tema propusă prin titlul tezei, s-au desfășurat din punctul de vedere al domeniilor abordate în două direcții și anume, aceea a optimizării obținerii energiei ultrasonore în scopuri tehnologice și aceea a construirii de aparatură specializată în identificarea dinamică a BU.

Deși cercetările au avut un caracter aplicativ - experimental nu a fost neglijat nici aspectul fundamental al cercetării, prin abordarea multilaterală a excitației în comutație precum și prin elucidarea unor fenomene ale identificării dinamice a blocurilor ultrasonice. Latura fundamentală a cercetărilor este legată direct de latura aplicativ - experimentală, care la rândul ei s-a finalizat în majoritatea cazurilor cu realizări tehnice, în fază experimentală sau de prototip, realizări bazate în întregime pe materiale și piese produse de economia națională.

Principalele realizări în domeniul cercetării fundamentale sînt;

Propunerea unei scheme structurale generalizate a generatorului de ultrasunete, fiecare generator fiind o realizare concretă a acesteia conținînd toate sau numai o parte din elementele componente.

Optimizarea obținerii energiei ultrasonore în scopuri tehnologice

În acest context s-a acordat atenție unor factori care determină o calitate corespunzătoare a TM și anume;

- forma și dimensiunile
- zona de conexiune cu MPD
- premagnetizarea
- bobinajul de excitație.

S-au abordat problemele mai importante ale excitației în comutație ca mijloc de optimizare a obținerii energiei ultrasonore prin posibilitatea pe care o oferă de a se utiliza la maximum

performanțele dispozitivelor semiconductoare produse în țară;

- s-au definit două moduri fundamentale de excitație în comutație și anume simetric și asimetric lămurindu-se aspectele esențiale ale asigurării unui transfer optim în funcție de mai multe obiective; s-a făcut un studiu comparativ asupra modurilor de excitație în comutație indicându-se avantajele și dezavantajele utilizării lor în funcție de scopurile propuse

- s-a definit eficiența utilizării unui TN și s-a stabilit o zonă de utilizări tehnologice ca subdomeniu al zonei de rezonanță;

- s-a efectuat un studiu asupra etajelor finale lucrând în comutație precum și asupra generatorului pilot de impulsuri de excitație.

S-a cercetat posibilitatea de control a stării de oscilație a BU excitat în comutație ca un alt mijloc important de optimizare dar și de creștere a fiabilității. Cele mai importante faze ale controlului, elucidate pe parcursul cercetărilor sînt:

- extragerea unor semnale utile care caracterizează starea de oscilație a BU;

- adaptarea sistemului RAF, RAØ și RAP la specificul excitației în comutație.

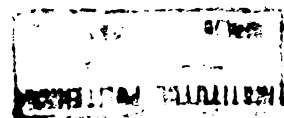
S-a cercetat posibilitatea de creștere a randamentului prin recuperarea unei părți importante din energia de autoinducție a cîmpului magnetic al BU și s-a clarificat în ce condiții este posibilă aceasta.

Cercetarea posibilității de identificare dinamică a BU

prin semnale de probă periodice cu obținerea răspunsului în domeniul grafic ca metodă operativă și de mare productivitate pentru domeniile cercetării, producerii și utilizării instalațiilor tehnologice cu ultrasunete precum și pentru acela al optimizării sau îmbunătățirii unor tehnologii. O caracteristică importantă a identificării dinamice este energia semnalului de probă care poate fi făcută egală sau mai mare față de valoarea nominală prevăzută de parametrii tehnologici. În acest context s-au mai rezolvat următoarele probleme;

- alegerea a 3 tipuri de semnale de probă capabile să ofere o explorare multilaterală a caracteristicilor BU;

. / .



- evidențierea mărimilor de ieșire primare sau derivate, ca semnal de răspuns, în funcție de obiectivele propuse;
- propunerea unei scheme structurale generalizate a aparatului de identificare și precizarea condițiilor care trebuie îndeplinite de principalele părți componente.

Principalele realizări în domeniul cercetării aplicativ-experimentale.

Referitor la optimizarea obținerii energiei ultrasonore

Realizarea în fază experimentală a unor excitatoare dintre care se remarcă în mod deosebit excitatorul în comutație destinat cercetării, capabil să realizeze orice mod fundamental de excitație cu 4 canale independente a 150W fiecare. Aceasta este o realizare practică a schemei generalizate având în structura sa toate elementele componente printre care sînt de menționat etajele finale tipizate, sistemele RAØ, RAP lent și rapid, blocul pentru recuperarea energiei de autoinducție precum și mai multe scheme de extragere a unor semnale utile privind starea de oscilație a BU. Acest excitator este în curs de brevetare.

A fost construit în fază experimentală un excitator de mod asimetric simplu și ieftin, dotat cu RAØ și RAP și cu performanțe foarte bune. Asigură o putere de $n \times 150W$ unde n = numărul de etaje finale tipizate cu care este dotat; este în curs de brevetare.

S-au realizat mai multe scheme pentru extragerea semnalului util care să caracterizeze starea de mișcare a BU excitat în comutații fără utilizarea traductoarelor. Aceste scheme și procedeele respective sînt în curs de brevetare.

S-au propus 3 procedee și scheme RAØ pentru excitarea în comutație care sînt în curs de brevetare.

S-a propus un procedeu original și 3 scheme de recuperare a energiei de autoinducție cu utilizarea ei în scopul excitării; sînt în curs de brevetare.

S-au propus 4 procedee și scheme de reglare automată a puterii pentru TM excitate în comutație care sînt în curs de brevetare.

Aplicațiile practice ale identificării BU

Aparatura de identificare poate avea aplicații largi în cercetare și în producerea de instalații tehnologice cu ultrasunete. Dintre acestea menționăm doar cîteva metode și procedee destinate rezolvării unor probleme ale fabricării BU.

- Sortarea și acordul feritelor magnetostrictive; este în curs de brevetare.

- Analizor de concentratoare prin metoda autorezonanței și prin metoda identificării caracteristicilor de frecvență; este în curs de brevetare.

- Metodă și instalație pentru acordul concentratoarelor pe o anumită frecvență de rezonanță; este în curs de brevetare.

- Metodă și instalație pentru acordul dintre ferită și concentrator în construirea BU; este în curs de brevetare.

- Metodă și instalație pentru determinarea înălțimii lichidului în băile cu ultrasunete în scopul măririi eficienței procedurii de curățire; este în curs de brevetare.

Intr-un cadru mai general toate aceste aplicații sînt procedee de caracterizare în frecvență a unor BU sau părți componente. Ele nu au epuizat posibilitățile pe care le oferă, rezultatele cercetării rămînînd pentru viitor un cîmp deschis, atît pentru perfecționarea a ceea ce s-a realizat cît și pentru rezolvarea unor probleme cu totul noi.

In final autorul consideră că și-a adus o modestă contribuție la acțiunea de perfecționare și introducere pe scară mai largă a tehnologiilor cu ultrasunete în industria noastră.

ANEXA NR. 1

În această anexă sînt reprezentate unele fotografii cu forme de undă ale tensiunilor și curenților la bornele înfășurării de excitație a T.M. pentru diferite moduri de excitație.

Fig. A1 a-e: forma tensiunii la menținerea constantă a fazei și amplitudinii impulsului de excitație, la diferite valori ale duratei de conducție.

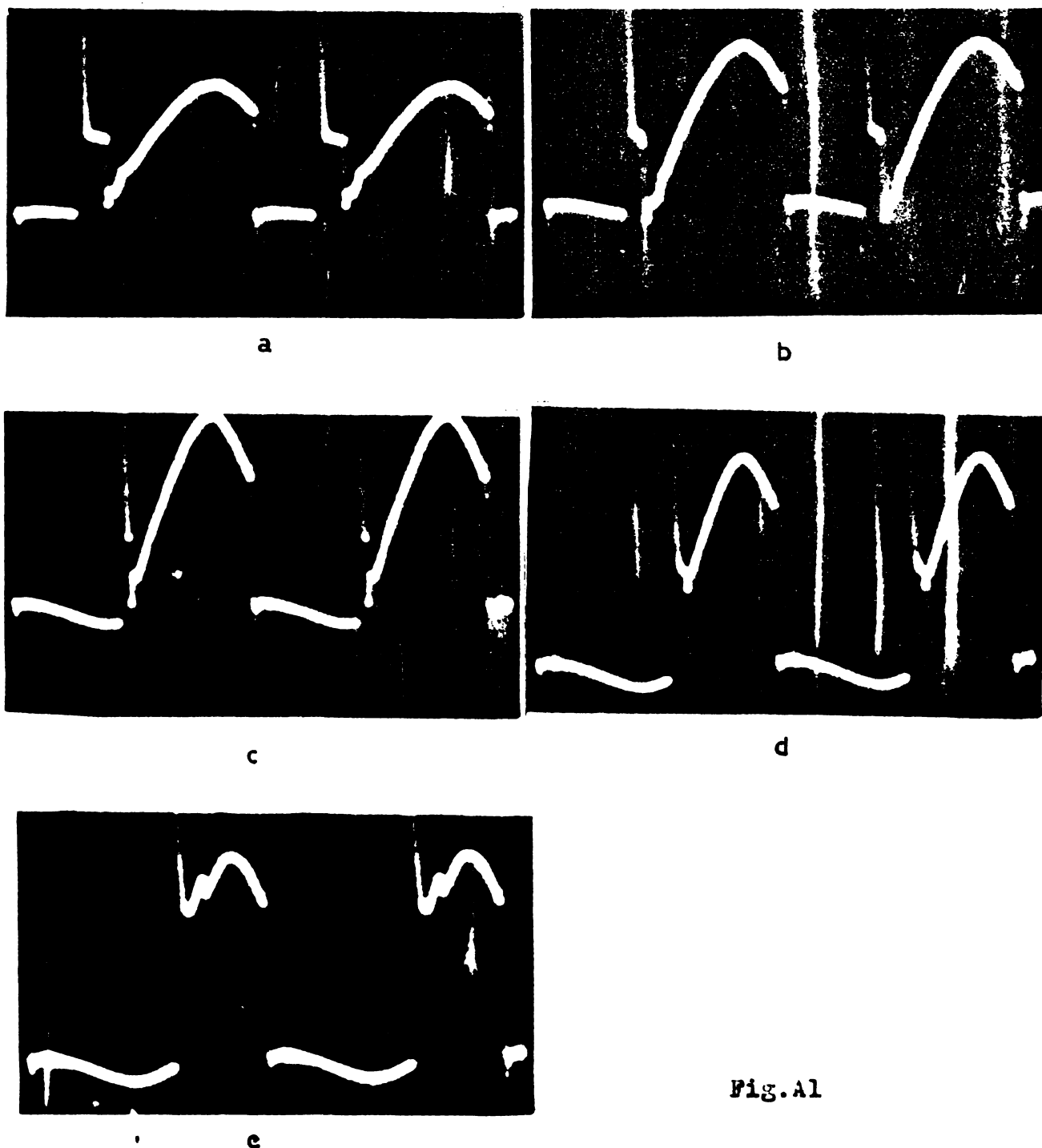


Fig.A1

Fig. A2 a-d: forma tensiunii la menținerea constantă a duratei și amplitudinii impulsului de excitație, la diferite valori ale fazei începutului acestuia față de oscilația T.M.

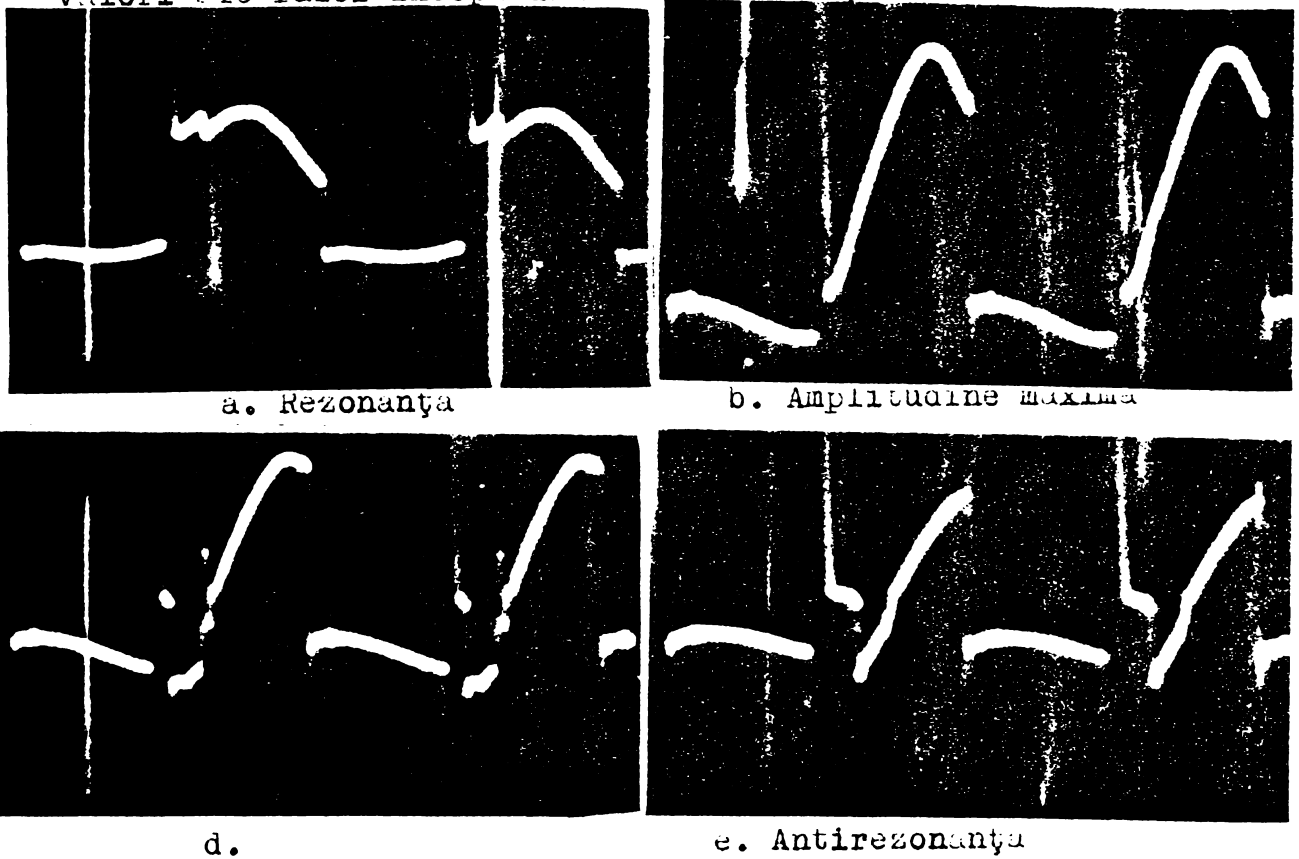
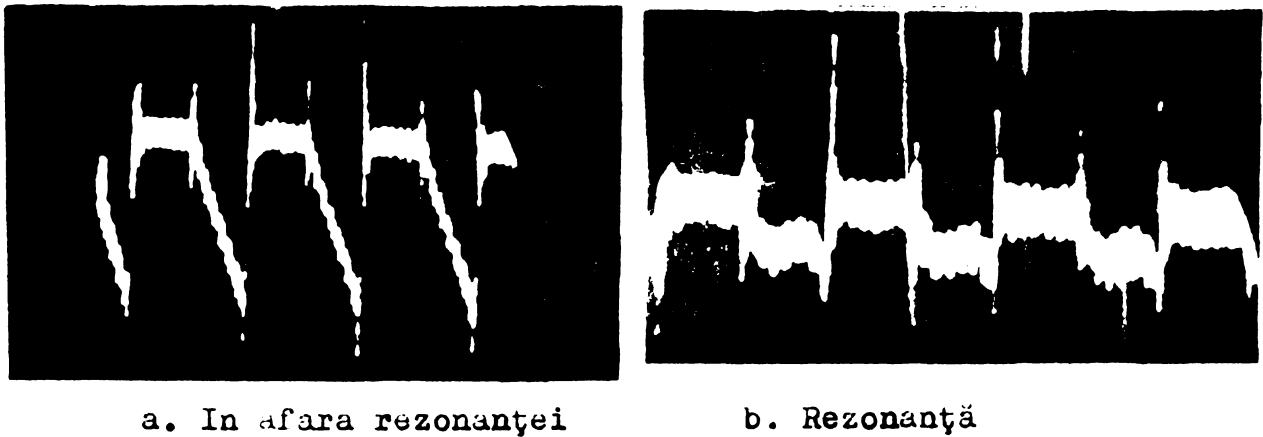
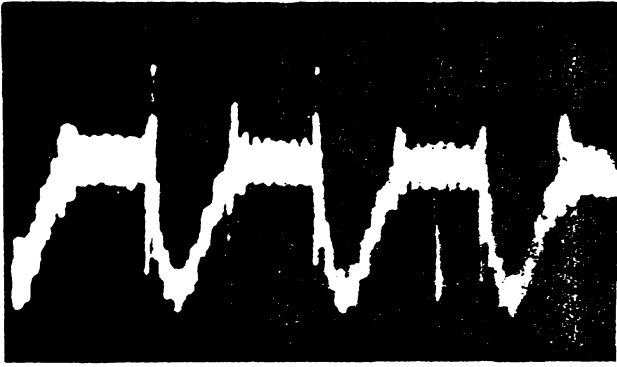


Fig. A2

Fig. A3 a-e: forma curentului prin înfășurarea de excitație la menținerea constantă a duratei, la diferite valori ale fazei. Mod asimetric, factor de umplere 50 %.

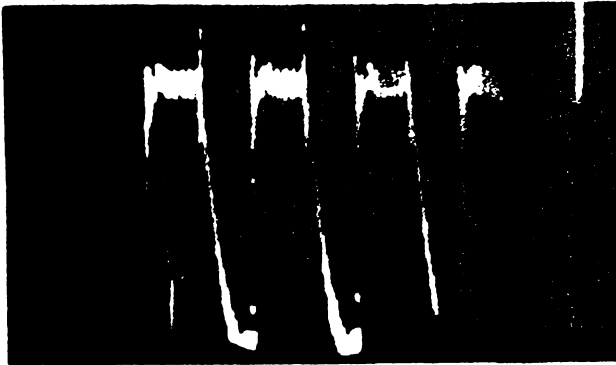




c.



d. Amplitudine maxima



e. Antirezonanța

Fig. A 3

Fig. A 3a-d: forma curentului prin înfășurarea de excitație la menținerea constantă a duratei, la diferite valori de fază. Mod simetric, factor de umplere 50 %.



a.



b. Rezonanța



c. Amplitudine maxima



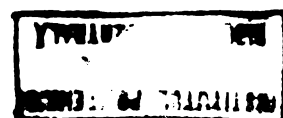
d. Antirezonanța

Fig. A 4

B I B L I O G R A F I E

1. Amza Gh., Contribuții la studiul fenomenelor de deformare plastică în câmp ultrasonor. Teză de doctorat, București, 1979
2. Astaseev V.K., Sacoian A.R., Cercetări experimentale privind dinamica sistemului vibrator al utilajelor cu ultrasunete (traducere din limba rusă). Masinovedenie nr.4, 1967, URSS.
3. Atanasiu N., Amza Gh., Contribuții privind calculul și construcția concentratoarelor de energie ultrasonică, Construcția de mașini nr.2/1971
4. Anderson I.C., Magnetism and Magnetic Materials. Londra, Chapman and Hall Ltd, 1968
5. Botezatu V, Dumitrescu M, Damian D., Generator de ultrasunete pentru încercări experimentale, a III-a Conferință de procese și utilaje de prelucrare la rece, Timișoara, 1978
6. Botezatu V, Savii Gh, Dumitrescu M., Cercetări experimentale privind funcționarea unor transductoare magnetostrictive folosite în instalațiile tehnologice cu ultrasunete, Sesiunea "Aspecte teoretice și aplicative ale acusticii" a Comisiei de acustică a Academiei R.S.R, Caiet 17, Buc., 1979.
7. Buzdugan Gh, Mihăilescu E, Radeș M., Măsurarea vibrațiilor, Ed. Academiei R.S.R., 1979.
8. Buzdugan Gh, Fetcu L, Radeș M., Vibrații mecanice, E.D.P., 1979
9. Botezatu V., Cercetări privind sintetizarea undelor mecanice în scopul stabilirii parametrilor optimi ai echipamentelor tehnologice cu ultrasunete, Referat nr.1, Catedra T.C.M., Timișoara 1977.
10. Botezatu V., Studiu asupra posibilității de control a mărimilor acustice care condiționează și caracterizează undele mecanice în zona de prelucrare la echipamentele tehnologice bazate pe ultrasunete, Referat nr.2 Catedra T.C.M., Timișoara, 1978.
11. Botezatu V., Folosirea generatoarelor de impulsuri pentru sinteza unor forme de undă mecanice în prelucrări neconvenționale cu ultrasunete, Referat nr.3, Catedra T.C.M., Timișoara 1979.

12. Bădărău E, Grumăzescu E, Ultraacustică fizică și tehnică, Editura Tehnică, București, 1967.
13. Buzdugan Gh, Mihăilescu E, Radeș M, Vibrațiile sistemelor mecanice, Editura Academiei R.S.R., București, 1975.
14. Csapo Gh, Amza Gh, Cercetări teoretice și experimentale privind calculul și construcția ansamblului concentrator transductor, Sesiunea "Tehnologii moderne în construcția de mașini", Galați, 1977.
15. Csapo Gh, Amza Gh, Calculul și construcția blocurilor ultrasonice pe bază de ferite, Sesiunea "Tehnologii moderne în construcția de mașini", Galați, 1977.
16. x x x Catalog de ferite românești, I.C.E. București, 1979
17. Ceașescu Nicu, Popescu Ion, Tehnologii neconvenționale, Editura Scrisul românesc, Craiova, 1982.
18. Cătuneanu V, Ovidiu Iancu, Drăgulescu M, Materiale și componente electronice, E.D.P., București, 1972.
19. x x x Circuite integrate digitale, Catalog I.P.R.S., 1978-79
20. x x x Circuite integrate liniare, Catalog I.P.R.S., 1982
21. Cedighian S, Materiale magnetice, București, Editura Tehnică, 1967
22. Cedighian S, Ferite, București, Editura Tehnică, 1968
23. Ciorăscu F, Spînulescu I, Măsurile electrice și electronice, E.D.P. București, 1962.
24. Dumitrescu M, Savii Gh, Inclănzan T, Direcții de cercetare și criterii de proiectare în realizarea sistemelor oscilante ultrasonice utilizate în tehnologie.
25. Drujinin Gh.V, Siguranța în funcționarea sistemelor, București, Editura Tehnică, 1968.
26. Deacu L, Pavel Gh, Vibrații la mașini-unelte, Editura Dacia, 1977
27. Drimer D, Savii Gh, Utilizarea ultrasunetelor în prelucrarea materialelor, Editura I.C.P.T.C.M., București, 1975.
28. Drimer D, Amza Gh, Csapo Gh, Contribuții privind calculul și construcția blocurilor ultrasonice din instalațiile de prelucrat cu ultrasunete, Sesiunea "Tehnologii moderne în Industria constructoare de mașini, Brăila, 1977.
29. Deacu L, Pavel Gh, În legătură cu aplicarea principiilor reglajului automat în procesul de rectificare, Buletinul științific, I.P. Cluj, nr.11, 1968.



30. Dascălu D, Turic C, Hoffman C, Circuite electronice, EDP, 1981
31. Eykhoff Peter, Identificarea sistemelor, Editura Tehnică, 1977
32. Ghersckal A, Fridman V, Ultrazvukovaia, Tehnologicesckaia Aparatura Moskva, 1976.
33. Goldemberg L.M., Teoria și calculul circuitelor de impulsuri (traducere din limba rusă) Editura Tehnică, București, 1972.
34. Greaves R.W., Transductoare magnetostrictive și piezoelectrice și aplicațiile lor, în Electronic Equipment, Anglia, 1975, pag. 24 - 26.
35. Iclănzan T, Cercetări asupra parametrilor constructivi și funcționali la mașinile de prelucrat cu ultrasunete, Teză de doctorat, Timișoara, 1975.
36. Kikuchi V, Performances of magnetostrictive transducers, I.A.S.A, 569 - 573, 1967
37. Kwiatkowski, A.W, A Magnetic Vibrator for Determination of Machine Tool Dynamic Characteristics Oes, Res, Part 1, în; Advances Mach. Tool Design and Res., Oxford, 1968-69.
38. Kudinov V. A și Klingnikov A.V, Metodica experimentalno apredele-niia ciostatnoi dinamiceskoi harakteristiki rezaniia, în Iss led, 6/68.
39. Isermann R, Experimentelle analyse der Dynamic von Reyelsystem n, Identification I, Bibliographisches Institut, Mannheim, 1971.
40. Isermann R, Processidentification und Parameterschötzung, Springer Verlag, Berlin, 1974.
41. Mărculescu A, Circuite corectoare, Editura Tehnică, București, 1975
42. Marcov I.A; Ultrasonic machining of intractable materials, London, 1960.
43. Mourier G, Optimizarea comenzii pe baza tranzistoarelor de putere în regim de comutație, în Toute l'Electronique, Franța, nr.442, apr. 79, pag. 65-67.
44. Mitrofan Gh, Generatoare de impulsuri și de tensiune liniar variabile, Editura tehnică, 1969.
45. Nanu A, Perspectivele tehnologiilor neconvenționale în industrie, Conferința "Dezvoltarea industrială a tehnologiilor neconvenționale, București, 1977.

46. Nicolau E, Manualul inginerului electronist, Măsurări electronice, Editura Tehnică, București, 1979.
47. Nicolau E, Baliș M, Măsurări electronice generale, Editura Tehnică, București, 1964.
48. Onu C, Electronică industrială, E.D.P., București, 1971
49. Olesen H.P, Measurement of the dynamic properties of materials and structures, Brüel & Kjaer Application Note nr.13-120.
50. x x x Prospecte Brüel & Kjaer
51. x x x Prelucrarea materialelor cu ultrasunete, INID, Culegeri de material documentar, București, 1966.
52. Ponner I, Electronică industrială, E.D.P., București, 1971.
53. Perkins I, P, Analysis of piezomagnetic vibrators. Ultrasonics nr.4, oct. 1964.
54. Peneșu C, Ionescu G, Creangă E, Identificarea experimentală a proceselor automatizate, Editura Tehnică, 1971.
55. Radeș M, Metode dinamice pentru identificarea sistemelor mecanice, Editura Academiei R.S.R., 1979.
56. Radu O, Componente electronice pasive, Catalog Editura Tehnică, București, 1981.
57. Radeș M, Metode de analiză grafică a răspunsului dinamic al sistemelor dinamice, St. cercetări mecanice, apr. 33, 1, pag. 75 - 103/1974.
58. x x x Studiu asupra materialelor și transductoarelor magnetostriective, I.P.T. București, 1975.
59. x x x Studiu de oportunitate privind introducerea ultrasunetelor în țara noastră, Contractul nr. 127/75 IPB - ICPTCM.
60. Shon A Aparatură for controlling power supplied to on ultrasonic transducers U.S.A. "Patent office" ian.1970.
61. Sarotiuic M.G, A high-output laboratory type generator for supplying quartz and magnetostriction ultrasonic transducers, Branch of VINITI, M 59, 275/3, URSS, 1959.
62. Savii Gh, Iclânzan T, Ignea A, Echipamente tehnologice cu ultrasunete pentru utilizări industriale, Sesiunea "Aspecte teoretice și aplicative ale acusticii", Comisia de acustică a Academiei R.S.R., Caiet 17, București, 1980

63. Savii Gh, Iclănzan T, Unele considerații asupra aplicării vibrațiilor ultrasonice în industrie, Conferința "Vibrații în ~~in~~ construcția de mașini", 1975, Timișoara.
64. Savii Gh, Iclănzan T, Curățirea cu ultrasunete în industrie. A II-a Conferință de prelucrări la rece, Timișoara, 1973.
65. Savii Gh, Iclănzan T, Contribuții la studiul mașinilor ultrasonice pentru prelucrarea materialelor, A IV-a Conferință de acustică, Caiet M, vol. II B, Academia R.S.R., București, 1973.
66. Savii Gh, Iclănzan T, Studiul experimental comparativ al blocurilor ultraacustice destinate instalațiilor tehnologice cu ultrasunete, Buletin I.P. Timișoara, fasc. 1/1973.
67. Savii Gh, Botezatu V, Damian D, Studiu asupra optimizării procesului de obținere a energiei ultrasonore, Sesiune de comunicări, Sibiu, 1982.
68. x x x Tranzistoare - diode, Catalog I.P.R.S., 1982
69. Vazaca Gr, Analiza și sinteza sistemelor automate, Editura Academiei R.S.R., București, 1967.
70. Vătășescu A, și alții, Circuite cu semiconductoare în industrie. Amplificatoare și oscilaționare, Editura Tehnică, București, 1971.
71. Vătășescu A, și alții, Circuite integrate liniare. Manual de utilizare, Editura Tehnică, București, 1979.