

INSTITUTUL POLITEHNIC  
„TRAIAN VOIA” - TIMISOARA  
FACULTATEA DE ELECTROTEHNICA

Ing. Opaschi Mihai

T E Z A   D E   D O C T O R A T

BIBLIOTECA CENTRALĂ  
UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA

1 9 7 9

|                                 |            |
|---------------------------------|------------|
| INSTITUTUL POLITEHNIC TIMIȘOARA |            |
| BIBLIOTECA<br>CENTRALA          |            |
| Volumul Nr.                     | 379/110    |
| Dulap                           | 299 Lit. 7 |

MINISTERUL EDUCATIEI SI INVATAMINTULUI  
INSTITUTUL POLITEHNIC „TRAIAN VUIA” - TIMISOARA  
FACULTATEA DE ELECTROTEHNICA

Ing. OPASCHI MIHAI

STUDIUL SI DETERMINAREA ZGOMOTULUI  
LA HIDROGENERATOARE

UNIVERSITATEA "POLITEHNICA"  
TIMIȘOARA  
BIBLIOTECA CENTRALĂ

Cota 379.110

Volan 299 7

CONDUCATOR ȘTIINȚIFIC  
Prof.dr. ing. Toma Dordea

- Aprilie 1979 -

TIMISOARA

## C U P R I N S

|   | Pg. |
|---|-----|
| INTRODUCERE   |     |
| Cap.1 - NOTIUNI FUNDAMENTALE DE ACUSTICA .....                                      | 4   |
| 1.1 - Unde acustice .....   | 4   |
| 1.2 - Surse sonore .....  | 7   |
| 1.3 - Caracteristicile fizice ale zgomotelor...                                     | 10  |
| 1.4 - Caracteristicile fiziologice ale zgomotelor .....                             | 11  |
| 1.5 - Propagarea undelor acustice în câmp liber                                     | 16  |
| 1.6 - Propagarea undelor acustice în încăperi..                                     | 18  |
| 1.7 - Vibrații mecanice .....   | 20  |
| 1.8 - Consecințele dăunătoare ale zgomotului și vibrațiilor .....                   | 22  |
| Cap.2 - ZGOMOTUL HIDROGENERATOARELOR .....  | 25  |
| 2.1 - Zgomotul electromagnetic .....  | 26  |
| 2.1.1 - Câmpurile magnetice din întrefere.....                                      | 26  |
| 2.1.2 - Forțele magnetice din întrefere.....  | 32  |
| 2.1.3 - Câmpurile și forțele magnetice în cazul înfășurărilor fracționare .....     | 48  |
| 2.1.4 - Vibrațiile statorului .....   | 55  |
| 2.1.5 - Nivelul de zgomot electromagnetic .....                                     | 62  |
| 2.2 - Zgomotul aerodinamic .....  | 67  |
| 2.3 - Zgomotul mecanic .....  | 77  |
| 2.3.1 - Dezechilibrul rotorului .....   | 77  |
| 2.3.2 - Lagărele .....  | 79  |
| 2.3.3 - Periile de contact .....  | 80  |
| 2.4 - Zgomotul total .....  | 81  |
| Cap.3 - NORME PRIVIND NIVELUL DE ZGOMOT SI DE VIBRAȚII AL HIDROGENERATOARELOR ..... | 82  |
| 3.1 - Zgomotul .....  | 82  |
| 3.2 - Vibrațiile .....  | 87  |

|  |     |
|--|-----|
| Cap.4 - MASURI PENTRU REDUCEREA NIVELULUI DE ZGOMOT<br>SI VIBRATII .....                     | 91  |
| 4.1 - Reducerea nivelului de zgomot al surselor  | 94  |
| 4.1.1 - Zgomotul electromagnetic .....   | 94  |
| 4.1.2 - Zgomotul aerodinamic .....   | 95  |
| 4.1.3 - Zgomotul mecanic .....   | 96  |
| 4.2 - Majorarea rezistenței acustice pe circui-<br>tul de transmitere a zgomotului .....     | 97  |
| 4.2.2 - Radiația zgomotului .....  | 101 |
| Cap.5 - MASURAREA NIVELULUI DE ZGOMOT SI VIBRATII LA<br>HIDROGENERATOARE .....               | 104 |
| 5.1 - Zgomotul .....   | 104 |
| 5.1.1 - Nivelul de presiune mediu măsurat .....  | 104 |
| 5.1.2 - Aparate de măsură .....  | 110 |
| 5.1.3 - Metodă pentru identificarea și măsurarea<br>nivelului de zgomot la hidrogenatoare..  | 112 |
| 5.1.3.1 Conturul de măsură .....   | 112 |
| 5.1.3.2 Nivelul global și spectrul zgomotului....  | 114 |
| 5.1.3.3 Rețele corectoare .....  | 115 |
| 5.1.3.4 Regimuri de probă .....  | 116 |
| 5.1.4 - Compararea nivelelor de zgomot ale hidro-<br>generatoarelor de mărimi diferite ..... | 117 |
| 5.2. - Vibrațiile .....  | 117 |
| Cap.6 - REZULTATE EXPERIMENTALE .....  | 119 |
| 6.1. - Stațiunea de cercetare a zgomotului.....  | 119 |
| 6.1.1 - Camera surdă .....   | 121 |
| 6.1.2 - Echipamentul electric de acționare și mă-<br>sură .....                              | 123 |
| 6.1.3 - Modelul de hidrogenerator .....  | 125 |
| 6.1.4 - Aparatele de măsură .....  | 127 |
| 6.3. - Metodă de calcul a nivelului de zgomot și<br>vibrații .....                           | 149 |

|                 |   |            |
|-----------------|---|------------|
| 6.3.1           | - Forțe magnetice radiale .....   | 149        |
| 6.3.1.1-        | Tabloul undelor de forțe magnetice radiale .....  | 149        |
| 6.3.1.2-        | Tabloul frecvențelor .....  | 150        |
| 6.3.1.3-        | Numărul de ordine al armonicelor de câmp. ....  | 150        |
| 6.3.1.4-        | Amplitudinea forței magnetice radiale specifice, care solicită statorul în funcție de $\alpha_i$ .....                  | 150        |
| 6.3.1.5-        | Amplitudinea forței magnetice radiale specifice, care solicită polul, în funcție de $\alpha_i$ .....                    | 151        |
| 6.3.1.6-        | Viteza periferică a undelor de forțe magnetice radiale pe diametrul exterior al fierului activ .....                    | 151        |
| 6.3.1.7-        | Tabloul armonicelor fracționare .....   | 152        |
| 6.3.2           | - Vibrațiile statorului .....   | 153        |
| 6.3.2.1-        | Ajustaj cu joc între fierul activ statoric și carcasă .....   | 153        |
| 6.3.2.2-        | Ajustaj rigid între fierul activ statoric și carcasă .....  | 154        |
| 6.3.3.          | - Zgomotul electromagnetic .....  | 155        |
| 6.3.4.          | - Zgomotul aerodinamic .....  | 157        |
| <b>7.4.</b>     | <b>- Calculul zgomotului și vibrațiilor efectuat pentru toate hidrogeneratoarele sincrone proiectate la ICPEH .....</b> | <b>158</b> |
| <b>7.4.1</b>    | <b>- Forțele magnetice radiale .....</b>  | <b>159</b> |
| <b>7.4.1.1-</b> | <b>Tabloul undelor de forțe magnetice radiale .....</b>   | <b>159</b> |
| <b>7.4.1.2-</b> | <b>Tabloul frecvențelor .....</b>   | <b>159</b> |
| <b>7.4.1.3-</b> | <b>Numărul de ordine al armonicelor de câmp. ....</b>   | <b>159</b> |
| <b>7.4.1.4-</b> | <b>Amplitudinea forței magnetice radiale specifice a statorului .....</b>   | <b>159</b> |
| <b>7.4.1.5-</b> | <b>Amplitudinea forței magnetice radiale specifice a polului .....</b>  | <b>160</b> |

|   |     |
|---|-----|
| 7.4.1.6 - Viteza periferică a undelor de forțe mag- |     |
| netice radiale .....                                | 160 |
| 7.4.1.7 - Tabloul armonicelor fracționare .....     | 160 |
| 7.4.2. - Vibrațiile statorului .....                | 160 |
| 7.4.3. - Zgomotul electromagnetic.....              | 161 |
| 7.4.4. - Zgomotul aerodinamic .....                 | 162 |
| 7.4.5. - Zgomotul total .....                       | 162 |
| Cap.8 - C O N C L U Z I I .....                     | 230 |
| BIBLIOGRAFIE .....                                  | 236 |

## I N T R O D U C E R E

Progresul tehnic realizat în domeniul mașinilor electrice, concretizat prin reducerea greutateii, gabaritului și a prețului de cost, a atras după sine creșterea nivelului de vibrații și de zgomot al mașinilor electrice. Hidrogeneratoarele noi se deosebesc de cele vechi prin gradul înalt de utilizare a materialelor active, realizat pe seama creșterii tuturor solicitărilor, precum și prin înlocuirea fontei cu oțelul laminat. Ca urmare inducțiile în întrefier au crescut cu cca 35 %, solicitările mecanice cu cca 50 %, iar solicitările termice și de ventilație cu cca 30 %. Prin înlocuirea fontei cu oțelul laminat a scăzut atenuarea acustică internă de 50 + 1000 ori, fapt care a condus la apariția de rezonanțe. Astfel a crescut nivelul de vibrații și de zgomot, cu toate efectele sale dăunătoare pentru om, contribuind la poluarea generală a mediului.

Cauza zgomotului o constituie forțele magnetice, care perturbând starea staționară a mediului continuu elastic, determină apariția unor oscilații sau vibrații, care se transmit prin aer ca zgomot aerian, sau prin structurile solide ca zgomot structural. Omul le percepe auditiv, respectiv tactil, ca senzație neplăcută cu efecte fiziologice și psihologice dăunătoare, în funcție de intensitatea lor. Se consideră că nivelul de zgomot maxim admisibil pentru om este de 85 dB la frecvența de 1000Hz. În consecință nivelul de zgomot a devenit un nou indice de calitate al hidrogeneratoarelor. De aceea cunoașterea cauzelor care determină nivelul de zgomot al hidrogeneratoarelor, a factorilor care-l influențează în mod preponderent, precum și stabilirea relațiilor de calcul în vederea evaluării nivelului de zgomot din fază de proiect și a măsurilor de reducere sînt o necesitate obiectivă impusă de nivelul tehnic actual al hidrogeneratoarelor.

Lucrarea conține 7 capitole, cu următorul conținut:

- In capitolul 1 sînt prezentate pe scurt noțiunile fundamentale de acustică, necesare pentru studierea zgomotului și vibrațiilor.
- In capitolul 2 se tratează zgomotul electromagnetic, aerodinamic și mecanic.

Pentru determinarea nivelului de zgomot electromagnetic sînt examinate cîmpurile armonice din întrefier determinate de creșterea statorului, de repartiția înfășurării statorului și de polii aparenti ai rotorului, precum și forțele magnetice radiale produse de acestea. Se analizează în mod deosebit influența armonicilor de cîmp și a forțelor magnetice radiale determinate de înfășurările fracționare.

Este examinat fenomenul de rezonanță, care poate apare cînd frecvența undelor de forțe magnetice radiale coincide sau este apropiată de frecvența oscilațiilor proprii ale statorului, în urma căruia nivelul de zgomot produs de armonicile de cîmp este amplificat în mod deosebit.

După literatura de specialitate nivelul de zgomot real nu se poate calcula, ci se calculează cele două nivele de zgomot limită corespunzătoare ajustajului cu joc, respectiv cu strîngere, între fierul activ și carcasă. Nivelul de zgomot real se află între cele două nivele de zgomot limită, dar mai aproape de cel corespunzător ajustajului cu strîngere. In lucrare se propune o metodă de calcul a nivelului de zgomot real, bazată pe strîngerea reală determinată experimental, a cărei exactitate este de cca 5 %.

Cu privire la zgomotul aerodinamic se analizează factorii care-l determină, se prezintă relații de calcul pentru nivelul de zgomot produs de ventilator, se stabilesc criterii pentru alegerea corectă a tipului de ventilator în funcție de turația specifică și se prezintă recomandări cu privire la realizarea optimă a circuitului de ventilație.

Se analizează de asemenea zgomotul mecanic produs de dezechilibrul rotorului, de lagăre și de periile de contact, care avînd o pondere mică în zgomotul total, este mas-



cat de celelalte două componente de zgomot.

- In capitolul 3 se examinează situația normelor existente pentru aprecierea nivelului de zgomot și vibrații și se propun criterii de norme specifice pentru hidrogenatoare.
- In capitolul 4 se prezintă măsuri și soluții concrete pentru reducerea nivelului de zgomot și vibrații, bazate pe reducerea nivelului de zgomot al surselor și pe majorarea rezistenței acustice a circuitului de transmitere, care pot fi aplicate din fază de proiectare.
- In capitolul 5 se propune o metodă unitară de identificare și măsurare a nivelului de zgomot și vibrații la hidrogenatoare și considerații cu privire la interpretarea lor. Se precizează mărimile de măsurat ale nivelului global și a spectrului zgomotului, conturul de măsură, regimurile de probă, instrumentele de măsură și rețelele corectoare.
- In capitolul 6 se prezintă rezultatele experimentale obținute pe cele două modele de hidrogenator în stațiunea de cercetarea zgomotului, realizată de ICPEH Reșița în colaborare cu Catedra de Mașini Electrice de la IPT, precum și cele obținute pe 12 tipuri distincte de hidrogenatoare aflate în exploatare la centralele hidroelectrice. De asemenea este prezentată metoda de calcul a nivelului de zgomot și vibrații, precum și calculele numerice efectuate cu această metodă pentru cele 24 tipuri distincte de hidrogenatoare, proiectate la ICPEH Reșița. In final se efectuează o confruntare între valorile calculate și cele măsurate de unde rezultă că gradul de precizie este de cca 5 %.
- In capitolul 7 sînt expuse concluziile care au rezultat din studiile și cercetările efectuate în cadrul lucrării.

Lucrarea de față are ca scop determinarea nivelului de zgomot și vibrații al hidrogenatoarelor pe bază de calcul și măsurători și stabilirea măsurilor concrete pentru reducerea acestora încă din fază de proiectare.

Principalele contribuții ale lucrării sînt:

- stabilirea unei metode unitare pentru calcu-

lul, identificarea și măsurarea nivelului de zgomot și vibrații la hidrogenatoare, conținând considerații privind interpretarea lor și măsuri concrete de reducere;

- stabilirea relațiilor de calcul al nivelului de zgomot pe baza strîngerii reale, a căror exactitate este de cca 95 %;
- elaborarea curbelor de nivel de intensitate sonoră în funcție de puterea și turația nominală.

Prezenta lucrare s-a efectuat în urma unor necesități obiective, iar încercările experimentale efectuate validează teoria și calculele prezentate.

Reducerea nivelului de zgomot al hidrogenatoarelor se înscrie în efortul general de limitare a poluării, conduce la ridicarea nivelului tehnic și a competitivității hidrogenatoarelor, contribuie la asigurarea perspectivei de export a hidrogenatoarelor și reprezintă contribuția de utilitate practică și eficiență economică a lucrării.

## 1. NOTIUNI FUNDAMENTALE DE ACUSTICA

### 1.1. Unde acustice

Starea staționară a <sup>unui</sup> mediului continuu solid, lichid sau gazos poate fi perturbată într-un punct dat al <sup>mediului, ceea ce,</sup> spațiului, ~~de o forță exterioară,~~ care datorită proprietăților sale elastice, <sup>ale mediului acustic</sup> determină apariția unor mișcări <sup>de</sup> oscilațioare sau vibrație, percepute de om prin

organul tactil, sub formă de trepidații sau vibrații și prin

organul auditiv, sub formă de sunete sau zgomote

Un corp care vibrează în <sup>tr-un</sup> mediu elastic produce o serie de dilatări și comprimări succesive, <sup>ale acusticiei,</sup> dând naștere la <sup>unor</sup> unde elastice, care se <sup>propaga</sup> transmit <sup>într-o anumită</sup> din aproape în aproape prin <sup>acei</sup> mediu elastic. Particulele mediului elastic efectuează <sup>numai</sup> mișcarea alternativă în raport cu poziția <sup>lor</sup> de echilibru, <sup>fară a</sup> dar nu se deplasează împreună cu unda. <sup>asa că</sup> Deci mediul <sup>nu</sup> permite transferul energiei, <sup>pe calea undei,</sup> ~~pe calea undei,~~ <sup>nu și materia de substanță.</sup> ~~fară a se deplasa sau propaga împreună cu unda.~~ Ca urmare, ~~undele acustice transportă numai energie.~~

~~Spațiul unui mediu continuu și elastic, care vibrează, fiind sediul unor unde acustice se numește câmp acustic.~~

~~Cîmpul acustic liber este nelimitat de pereți, și se întinde teoretic la infinit, dar unde acustice care se propagă în acest câmp sînt unde progresive, cu deplasare neîntreruptă spre infinit.~~

~~Undele acustice au particularitatea că particulele mediului respectiv oscilează în raport cu poziția de echilibru, iar viteza de propagare a undei este considerabil mai mare decît viteza de oscilație a particulelor în raport cu poziția de echilibru.~~

~~Pentru a putea vibra, corpul primește <sup>în</sup> energia <sup>prin</sup> din exterior, din care o parte este transferată mediului exterior și r~~

Iar <sup>alta</sup> restul este <sup>transferată</sup> transportată, la distanță de către undele acustice, care se <sup>propaga</sup> deplasează prin mediu.

Corpul care vibrează se numește radiator acustic sau sursă sonoră, iar undele acustice produse de acesta, care prin frecvența lor determină o senzație auditivă, se numesc unde sonore.

Viteza de propagare a undelor acustice, <sup>adică a</sup> sau viteza sunetului, <sup>a carei expresie rezultă din formula elasticității și temperaturii</sup> are valoare maximă în corpurile solide, este mai mică în corpurile lichide și ~~era~~ cea mai mică ~~valoare~~ în corpurile gazoase.

Viteza sunetului <sup>în</sup> pentru câteva corpuri este:

|              |      |         |       |       |      |     |
|--------------|------|---------|-------|-------|------|-----|
| c = 340      | 1441 | 40-200  | 2130  | 3500  | 5100 | m/s |
| corpul = aer | apă  | cauciuc | plumb | cupru | oțel |     |

Lungimea de undă, ~~este~~ distanța dintre două puncte succesive în care au loc simultan <sup>acelui</sup> comprimări sau dilatări, ~~și~~ are expresia:

$$\lambda = \frac{c}{f} \quad (1)$$

unde f este frecvența de oscilație a sursei sonore.

Pentru o frecvență dată, lungimea de undă, care depinde de viteza <sup>c a</sup> sunetului este <sup>deci</sup> mai mare în corpurile solide decât în cele gazoase.

Intr-un ~~volu~~ volum de gaz dat, în care nu apare nici o perturbare cauzată de radiația unei surse sonore, presiunea <sup>acestui</sup> gazului, în orice punct este egală <sup>cu</sup> presiunea atmosferică, ~~ce se alege~~ care este <sup>ca</sup> presiunea de referință și are valoarea:

$$p_a = 10^5 \text{ Pa} \quad ?$$

Propagarea perturbației <sup>dăte de</sup> oscilante a undei sonore, prin dilatarea și comprimarea <sup>din</sup> particulelor de gaz, determină o creștere, respectiv <sup>scădere</sup> scădere, a presiunii. <sup>față de cea de referință</sup> Ca urmare, pro-

~~pagarea undelor sonore are ca efect o variație a presiunii~~  
 în raport cu timpul, <sup>astfel ca)</sup> deci presiunea totală este când mai mare,  
 când mai mică, <sup>aceasta diferență dintre valorile instantanee ale presiunii și de</sup> decât ~~presiunea statică~~, <sup>referință</sup> Valoarea ~~presiunii~~ statică, la un moment dat, se numește presiune acustică ins-  
 tantanee: și se notează cu  $p_i$ , iar

se numește Presiunea acustică eficace; notată cu  $p_{ef}$  este ra-  
 dicalul din valoarea medie pătratică a presiunii.

Presiunea acustică pentru cele două limite ale dome-  
 niului audibil, la frecvența convențională de 1000 Hz, tempe-  
 ratura de 20°C și presiunea atmosferică de 736 mm CHg este în funcție de  
 decibeli:

$$\begin{array}{ll} 0 \text{ dB} & \dots\dots\dots p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \text{ N/m}^2 \\ 120 \text{ dB} & \dots\dots\dots p_{max} = 2 \cdot 10^1 \text{ N/m}^2 \end{array} \left. \begin{array}{l} \text{unitate} \\ ? \end{array} \right\}$$

iar raportată la presiunea atmosferică este de  $5 \cdot 10^3$  respec-  
 tiv  $5 \cdot 10^9$  ori mai mică. Rezultă că <sup>presiunile acustice din</sup> undele sonore audibile ~~se~~ <sup>sunt</sup>  
 prezintă domeniul micropresiunii în raport cu presiunea at-  
 mosferică.

Cantitatea de energie acustică  $E_a$ , care străbate în  
 unitate de timp o suprafață dată, normală pe direcția de pro-  
~~pagare a undei~~, se numește flux de energie acustică și are  
 expresia:

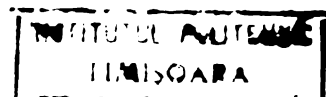
$$\phi_a = \frac{E_a}{t} \quad [W] \quad (2)$$

Fluxul de energie acustică <sup>prin</sup> raportat la unitatea de  
 suprafață normală pe direcția de propagare <sup>(și de aria S)</sup> se numește inten-  
 sitate acustică și are expresia:

$$I = \frac{\phi_a}{S} = \frac{E_a}{S \cdot t} \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (3)$$

sau exprimată prin presiunea acustică eficace; este

$$I = \lim_{T \rightarrow \infty} \frac{1}{T} \int_0^T p_{ef} \cdot v \cdot dt = p_{ef} \cdot v = \frac{p_{ef}^2}{\rho \cdot c} = \frac{p_{ef}^2}{Z_a} \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (4)$$



unde:

$$Z_a = \rho \cdot c = 408 \frac{\text{N}\cdot\text{s}}{\text{m}^3}, \text{ este impedanță acustică a aerului}$$

$\rho$  - densitatea aerului

$v$  - viteza de oscilație a particulelor

### 1.2 - Surse sonore

După modul de radiație a energiei acustice în spațiu, sursele sonore pot fi caracterizate prin:

- puterea acustică
- directivitatea radiației
- caracteristica de frecvență sau spectrograma
- modul de radiație în timp

Puterea acustică, este energia acustică totală radiată de o sursă în unitatea de timp, care străbate suprafața totală  $S$  și se obține prin integrarea vectorului intensității acustice  $\vec{I}$  de-a lungul suprafeței  $S$  care acoperă sursa sonoră, adică:

$$P = \oint_S \vec{I} \cdot d\vec{S} \quad (5)$$

Dacă suprafața elementară  $d\vec{S}$  este mereu perpendiculară pe vectorul  $\vec{I}$ , rezultă:

$$|\vec{I}| = I = \frac{p_{ef}^2}{\rho \cdot c} \quad \left[ \frac{\text{W}}{\text{m}^2} \right] \quad (6)$$

iar relația (5) devine:

$$P = I \cdot S = \frac{p_{ef}^2}{\rho \cdot c} S = \frac{p_{ef}^2}{Z_a} S = \frac{1}{408} \frac{1}{n} \sum_i (p_{ef}^2)_i \cdot S \quad [\text{W}] \quad (7)$$

O sursă care radiază uniform în toate direcțiile produce unde sferice, în care caz se poate considera că su-

prafața sferei imaginare  $S$ , de rază  $r$ , are centrul în sursă și deci puterea acustică devine :

$$P = I \cdot 4 \cdot \pi \cdot r^2 = \frac{4 \cdot \pi \cdot r^2 \cdot p_{ef}^2}{Z_a} \quad [W] \quad (8)$$

de unde intensitatea acustică este :

$$I = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (9)$$

Domeniul puterilor acustice al diferitelor surse cunoscute în prezent este foarte mare, cum rezultă din următoarele :

|                                     |               |     |
|-------------------------------------|---------------|-----|
| - rachete pe rampa de lansare ..... | $P = 10^4$ kW |     |
| - jetul reactoarelor .....          | = 10 "        |     |
| - ciocane pneumatice .....          | = 1 "         |     |
| - orchestră mare .....              | = 50-70 W     |     |
| - pian .....                        | = 0,3 "       |     |
| - voce puternică .....              | = 0,001 "     | } 2 |
| - voce normală .....                | = 20 "        |     |
| - foșnetul frunzelor .....          | = 0,001 "     | -2  |
| - mașini electrice .....            | = 0,5 · 10    |     |
|                                     | + 2 W         |     |

După directivitatea radiației, sursele sonore pot fi :

- omnidirecționale
- direcționale

Gradul de directivitate al surselor sonore poate fi caracterizat prin factorul de directivitate  $\varphi_d$ , care în cazul surselor omnidirecționale este  $\varphi_d = 1$  iar în cazul surselor unidirecționale este  $\varphi_d < 1$ .

Tinând seamă de gradul de directivitate, intensitatea acustică din relația (9) devine :

$$I = \frac{P}{4 \cdot \pi \cdot r^2} \cdot \varphi_d \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (10)$$

iar în cazul cînd radiația nu se face după o sferă, ci după o semisferă, relația are forma generală:

$$I = \frac{P}{K \cdot \pi \cdot r^2} \varphi_d \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (11)$$

unde  $K = 2; 4$ , pentru semisferă, respectiv sferă.

Sunetul este o vibrație acustică în regim <sup>periodic?</sup> sinusoidal, iar zgomotul este o vibrație acustică în regim <sup>aperiodic?</sup> nesinusoidal, ambele fiind produse în domeniul de audibilitate al frecvențelor.

Sunetul pur, sau sunetul simplu, sau tonul, este rezultatul unei vibrații <sup>constă într-o</sup> armonice, cu o singură frecvență ~~de valoare constantă~~.

Sunetul complex conține mai multe sunete pure, ale căror frecvențe se încadrează sau nu într-o serie armonică. | 2

Sunetul de impact este produs prin lovire.

Zgomotul este o vibrație acustică cu spectru de frecvențe continuu într-o anumită bandă. ~~Nu are componente de-finite.~~

Zgomotul alb are energia acustică repartizată uniform în toată gama de frecvențe; deci are un spectru continuu și uniform.

Determinarea componentelor ~~în cazul~~ zgomotului se face prin analiză spectrală.

Spectrul zgomotului <sup>acustică</sup> reprezintă variația nivelului de zgomot în funcție de frecvență, și oferă detalii asupra componentelor zgomotului, <sup>și poate da informații</sup> cu privire la originea lor, precum și la modul de combatere a acestora.

Zgomotele industriale nu conțin în general sunete pure, ci sunete complexe, sau zgomote.



### 1.3. Caracteristicile fizice ale zgomotelor

Valorile puterilor și ale presiunilor din natură au un domeniu foarte mare și îngreunează aprecierea. Din această cauză în acustică, în general, deci și în domeniul zgomotului și al vibrațiilor, în locul scării lineare se folosește scara logaritmică, respectiv în locul mărimii se folosește nivelul de mărime, iar în locul unităților de măsură fizice se folosește o unitate de măsură matematică denumită decibel. În consecință nivelele de mărimi în decibeli, vor fi:

- Nivelul de presiune acustică

$$L_p = 20 \log \frac{p_{ef}}{p_0} \quad [dB] \quad (12)$$

unde:

$p_{ef}$  = presiunea acustică eficace a sunetului

$p_0$  = presiunea acustică de referință, a cărei valoare este precizată în capitolul 1.1

- Nivelul de intensitate acustică

$$L_I = 10 \log \frac{I}{I_0} \quad [dB] \quad (13)$$

unde:

$I$  = intensitatea acustică a sunetului

$I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2}$ , este intensitatea acustică de referință.

În cazul normal la  $t = 22^\circ C$   $p = 750$  mm CHg pentru un sunet dat, rezultă:

$$L_p - L_I \approx 0,2 \text{ dB} \quad (14)$$

ceea ce se poate neglija și ca urmare în măsurători se poate folosi oricare din cele două nivele, deoarece:

$$L_p \approx L_I \quad (15)$$

- Nivelul de putere acustică este

$$L_p = 10 \log \frac{P}{P_0} \quad (16)$$

unde:

P - puterea acustică a sursei

$P_0 = 10^{-12}$  W, este puterea acustică de referință după ISO.

Restrângerea valorilor pentru indicarea mărimii presiunii sonore, prin utilizarea nivelului de presiune sonoră, rezultă din corespondența dintre aceste valori prezentată în tabela 1.

Tabela 1 - Corespondența dintre nivelul de presiune și presiunea medie pătratică

|             |        |         |       |        |      |       |     |      |     |     |     |     |     |     |      |
|-------------|--------|---------|-------|--------|------|-------|-----|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| $L_p$       | 40     | 50      | 60    | 70     | 80   | 90    | 100 | 110  | 120 | 130 | 140 | 150 | 160 | 170 | 180  |
| $\bar{p}^2$ | 0,0002 | 0,00063 | 0,002 | 0,0063 | 0,02 | 0,063 | 0,2 | 0,63 | 2   | 6,3 | 20  | 63  | 200 | 630 | 2000 |

#### 1.4. - Caracteristicile fiziologice ale zgomotelor

Variațiile de presiune produse de undele sonore sînt <sup>percepute</sup> transformate de organul auditiv în <sup>ca</sup> senzații fiziologice, denumite sunete sau zgomote. Urechea omenească are capacitatea de a percepe, analiza și diferenția sunetele primite, după frecvență și intensitate.

După domeniul de frecvență sunetele se împart în:

- f = 16-16000 Hz ..... domeniul audibil
- f < 16 Hz ..... infrasunete
- f > 16000 Hz ..... ultrasunete

In cele ce urmează se prezintă principalele caracteristici fiziologice ale sunetelor.

- Inălțimea sunetului este elementul de percepție auditivă legat de frecvența oscilațiilor și reprezintă aceeași calitate a percepției auditive, care permite clasificarea sunetelor de la cele „joase” la cele „înalte”.

Relația dintre înălțimea sunetului și frecvență nu este lineară. Pragul diferențial, adică <sup>minimă</sup> variația perceptibilă a frecvenței față de frecvența inițială <sup>dată</sup> este de 0,3 % <sup>în această</sup>, adică:

|                             |        |                      |
|-----------------------------|--------|----------------------|
| $\Delta f = 0,3 \text{ Hz}$ | pentru | $f = 100 \text{ Hz}$ |
| $= 3 \text{ "}$             | "      | $= 1000 \text{ "}$   |
| $= 6 \text{ "}$             | "      | $= 2000 \text{ "}$   |
| $= 30 \text{ "}$            | "      | $= 10000 \text{ "}$  |

- Nivelul de tărie reprezintă completarea noțiunii fizice de intensitate acustică cu forma sensibilității auditive și este definit de relația:

$$L = 20 \log \left( \frac{p_f}{p_0} \right)_{f=1000 \text{ Hz}} \quad \text{[Foni]} \quad (17)$$

Deoarece scara logaritmică este insuficientă pentru caracterizarea fineții urechii, unitatea matematică denumită „decibel” trebuie completată cu un element care ține seamă de efectul simultan și complex al frecvenței și al intensității sonore.

Unitatea de măsură pentru nivelul de tărie este „Fonul”, care reprezintă nivelul de tărie al sunetului pentru care nivelul de presiune sonoră a sunetului de aceeași tărie este egal cu 1 dB, la frecvența de 1000 Hz, adică:

$$1 \text{ Fon} = 1 \text{ dB} \\ (f = 1000 \text{ Hz})$$

Fonul este o unitate de măsură adimensională, ca și decibelul.

Totalitatea valorilor intensităților sonore asociate diferitelor frecvențe, pentru aceeași senzație fiziologică,

poate fi reprezentată printr-o „curbă de egală senzație auditivă” sau de „egală tărie”. În funcție de numărul existent de nivele de senzație <sup>distincte</sup> rezultă numărul de „curbe de egală senzație auditivă”, care formează o rețea <sup>mărginită</sup> delimitată de curbele limită:

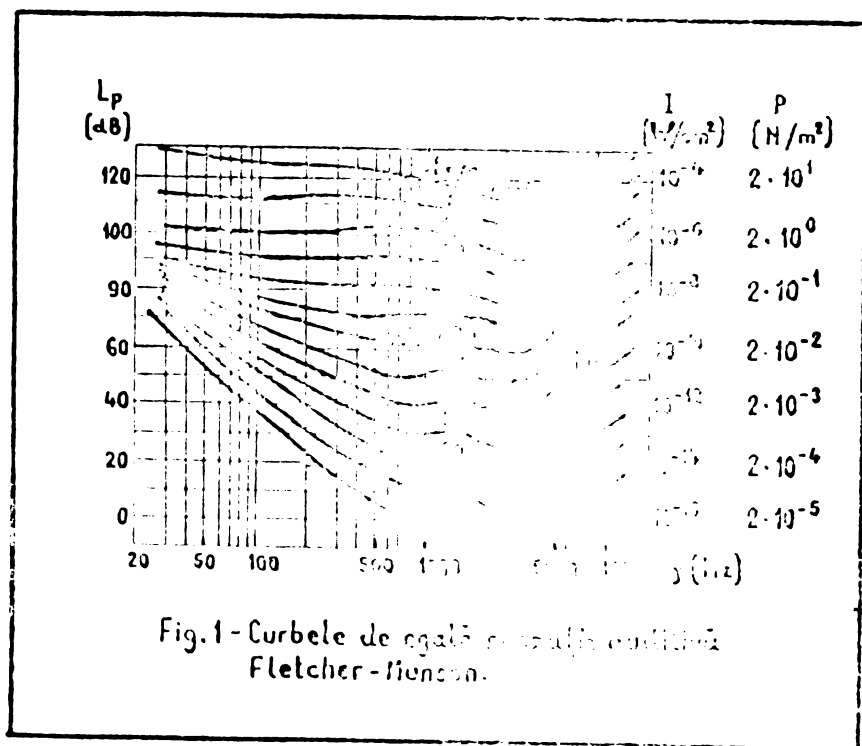
- pragul de audibilitate, care este limita inferioară, pentru care corespunde  $\Lambda = 0$  Foni, are:

$$p_0 = 2 \cdot 10^{-5} \frac{N}{m^2} \text{ și } I_0 = 10^{-12} \frac{W}{m^2} ,$$

- pragul de durere, care este limita superioară pentru care corespunde  $\Lambda = 120$  Foni <sup>are</sup>  $p_{max.} =$

$$2 \cdot 10^1 \frac{N}{m^2} , I_{max.} = 10^0 \frac{W}{m^2} ,$$

Această rețea de curbe reprezintă toată sensibilitatea urechii umane în dubla dependență de frecvență și intensitate și sînt prezentate în fig.1, cunoscute sub numele de curbele lui Fletcher - Munson. Pentru fiecare curbă senzația auditivă este constantă și este înscrisă pe curbă în Foni; ~~la~~ la frecvența de 1000 Hz valorile în Foni sînt egale cu cele în decibeli.



Forma curbelor arată că urechea este mai puțin sensibilă în domeniul frecvențelor joase, dar în schimb este foarte sensibilă în domeniul frecvențelor înalte, unde între 2000-6000 Hz apare domeniul de sensibilitate ridicată. Sensibilitatea maximă se află în jurul frecvenței de 3000 Hz, corespunzătoare frecvenței

de rezonanță a organului auditiv.

Variația sensibilității depinde și de durata sunetelor, deoarece funcțiile sensoriale și motrice, fiind însușiri fiziologice, necesită un anumit timp de reacție denumit constantă de timp, care în cazul urechii umane este de 0,2 sec. Pentru durate mai mici sunetele sînt percepute sub formă de pocnete. În fig.2 este prezentată harta zgomotelor cunoscute în prezent, care apar în domeniul audibil.

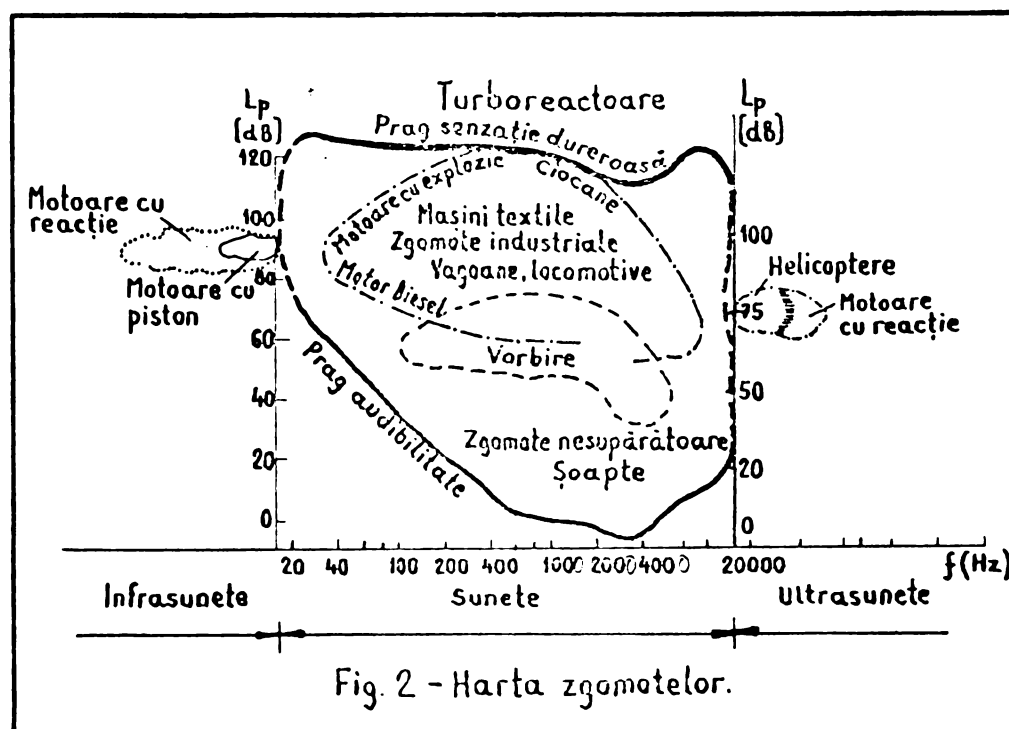


Fig. 2 - Harta zgomotelor.

În cazul cînd  $n$  surse sonore, avînd intensitățile  $I_1, I_2, \dots, I_n$ , la o frecvență dată, acționează simultan, atunci nivelul de tărie total se poate determina cu relația:

$$\Lambda_t = 10 \log \frac{I_1 + I_2 + \dots + I_n}{I_0} = 10 \log \frac{I_t}{I_0} \quad [\text{Foni}] \quad (18)$$

undă:

$$I_t = \sum I_i$$

$I_0$  - intensitatea de referință

În cazul radiației simultane a două surse sonore, care produc într-un punct dat nivelele de tărie  $\Lambda_1$  și  $\Lambda_2$

unde  $\Lambda_1 > \Lambda_2$ , atunci nivelul de tărie rezultat, la o frecvență dată, se poate determina cu relația:

$$\Lambda_t = \Lambda_1 + \Delta\Lambda \quad [\text{Foni}] \quad (19)$$

unde:

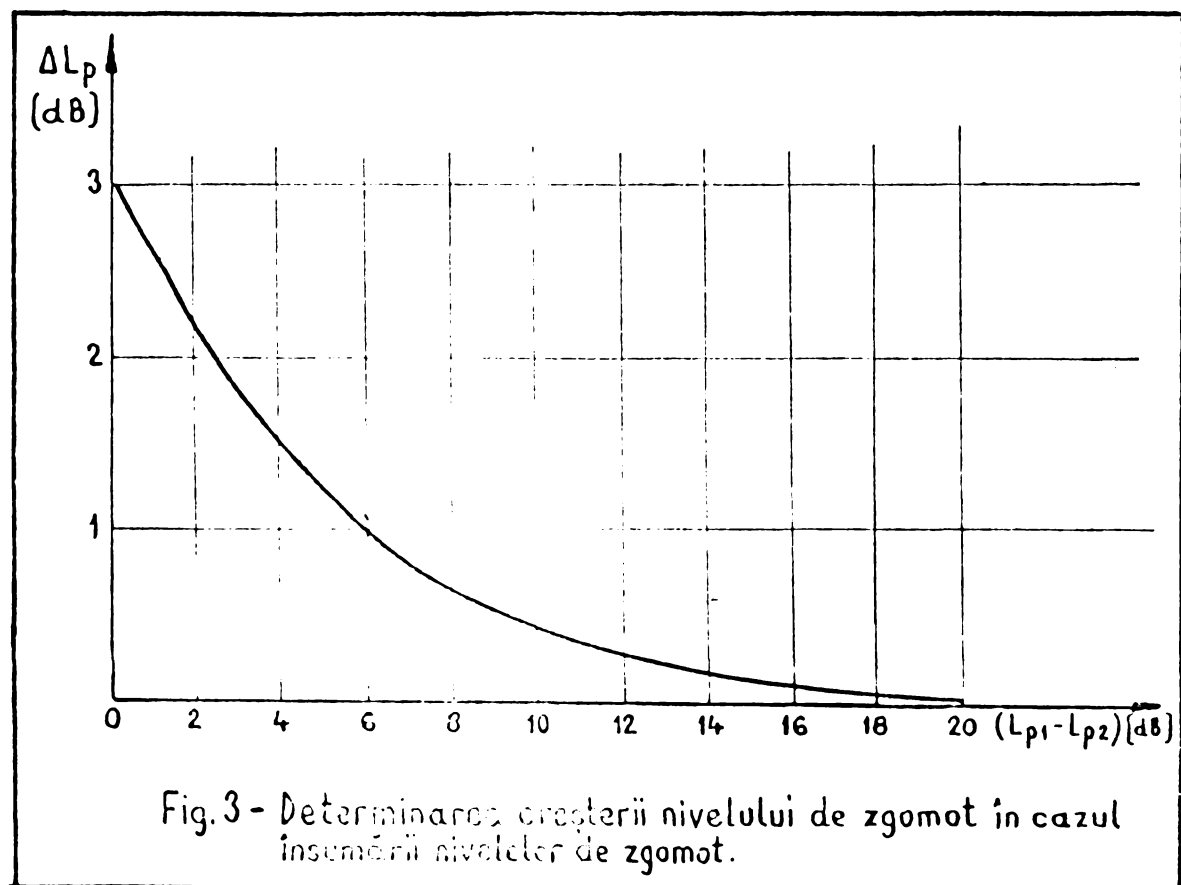
$\Delta\Lambda = \Lambda_1 - \Lambda_2$  și reprezintă creșterea de nivel de tărie

Pentru frecvența dată, egală cu cea convențională de  $f = 1000$  Hz, nivelul de tărie rezultat este egal cu nivelul de presiune total și se poate exprima printr-o relație similară cu (19), adică:

$$L_{pt} = L_{p1} + \Delta L_p \quad [\text{dB}] \quad (20)$$

Cu ajutorul acestei relații se poate calcula nivelul de presiune total, pentru  $n$  surse diferite, care acționează simultan, operînd însumarea succesivă a nivelurilor de presiune în ordine descrescătoare, adică  $L_{p1} > L_{p2} > L_{p3} \dots > L_{pn}$ .

Pentru ușurarea calculelor  $\Delta L_p$  se poate obține din fig.3.



Dacă acționează mai multe surse, rolul preponderent îl are sursa cea mai puternică.

După cum rezultă din fig.3, sursele care au nivelele de presiune ce diferă cu mai mult de 8 dB față de nivelul sursei preponderente practic pot fi neglijate, deoarece  $\Delta L_p < 0,6 \text{ dB}$ .

Ca urmare, măsurile pentru reducerea nivelului de zgomot total trebuie să se îndrepte asupra surselor preponderente.

### 1.5 - Propagarea undelor acustice în câmp liber

Prin aer se pot propaga numai undele longitudinale. Undele acustice care transportă o cantitate de energie în spațiu, pe măsură ce crește distanța de la sursă se produce o pierdere progresivă a energiei, cauzată de:

- divergența sferică
- absorbția în mediu

ceea ce are ca efect atenuarea sunetului în funcție de distanță.

Dacă se consideră o sursă sonoră omnidirecțională, energia transportată de undele sonore disipă după suprafața laterală a unei sfere, a cărei rază este în continuă creștere.

Puterea sursei rămânând constantă, intensitatea scade invers proporțional cu pătratul distanței, conform relației (9).

Considerând două puncte situate la distanțele  $r_1$  și  $r_2$  de o sursă omnidirecțională, în care au loc intensitățile acustice  $I_1$  și  $I_2$ , în baza relației (9) se poate scrie:

$$I_2 = I_1 \left( \frac{r_1}{r_2} \right)^2 \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (21)$$

În aceste puncte, nivelele de presiune acustică, conform relației (12), sînt:

$$L_{p1} = 20 \log \frac{p_1}{p_0} \quad [\text{dB}]$$

$$L_{p2} = 20 \log \frac{p_2}{p_0} \quad [\text{dB}]$$

iar atenuarea de nivel de presiune devine:

$$\begin{aligned} \Delta L_p &= L_{p1} - L_{p2} = 20 \left[ \log \frac{p_1}{p_0} - \log \frac{p_2}{p_0} \right] = \\ &= 20 \log \frac{p_1}{p_2} = 20 \log \frac{r_2}{r_1} \quad [\text{dB}] \end{aligned} \quad (22)$$

Dacă distanța punctului 2 este dublă față de cea a punctului 1, rezultă:

$$r_2 = r_1$$

$$\Delta L_p = 20 \log \frac{2r_1}{r_1} = 20 \log 2 \cong 6 \text{ dB} \quad (23)$$

Din această relație rezultă că în cazul dublării distanței față de o sursă omnidirecțională aflată în câmp acustic liber, nivelul de presiune scade cu 6 dB.

Dacă punctul 1 se află la o distanță de 1 m de sursă, atunci:

$$r_1 = 1 \text{ m}$$

$$r_2 = r$$

$$L_{p2} = L_{p1} - 20 \log \frac{r_2}{r_1} = L_{p1} - 20 \log r \quad [\text{dB}] \quad (24)$$

Din relațiile (8), (12), (16) se poate deduce expresia nivelului de putere acustică în funcție de nivelul de presiune măsurat la o distanță oarecare  $r$  față de sursă:

$$L_p = L_p + 20 \log r + 10,9 \quad [\text{dB}] \quad (25)$$

În cazul când sursa se află la nivelul solului, datorită reflexiilor produse de sol, relația (25) după [12] devine:

379110  
299 F



$$L_p = L_p + 20 \log. r + 14 \quad [dB] \quad (26)$$

### 1.6 - Propagarea undelor acustice în încăperi

Cînd undele sonore întîlnesc un obstacol constituit din alt mediu prin care pot trece integral, parțial sau deloc, la suprafața de separare a celor două medii are loc reflexia undelor, refracția lor, sau ambele concomitent.

În cazul reflexiei, întreaga energie acustică incidentă se întoarce în mediul sursei. În cazul refracției întreaga energie acustică incidentă se transmite în cel de al doilea mediu. În cazul reflexiei și refracției concomitente, o parte din energia acustică se întoarce în mediul inițial, iar restul se transmite în cel de al doilea mediu, în mod integral sau parțial, după cum obstacolul este absorbant sau nu.

Cîmpul acustic al unei încăperi este limitat prin planele de separație constituite din pardoseală, plafon și pereți. Acestea fiind obstacole în calea undelor sonore produse de o sursă, fac ca într-un punct dat al încăperii aflat la distanța  $r$  de sursa omnidirecțională de putere acustică  $P$ , intensitatea acustică să fie rezultatul suprapunerii energiilor transportate de undele directe și undele reflectate, adică:

$$I = I_d + I_r = \frac{P \cdot \varphi_d}{k \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4P}{S_a} = P \left( \frac{\varphi_d}{k \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{S_a} \right) \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (27)$$

unde  $S_a$  este constanta de absorbție a localului.

Din această relație rezultă că intensitatea acustică la o distanță dată  $r$  este mai mare într-o încăpere decît în aer liber, cu termenul ce corespunde undelor reflectate și care depinde de constanta de absorbție a localului.

Cu cît constanta de absorbție este mai mică, deci planele sînt mai reflectante, cu atît acest termen este mai mare.

Totodată se observă că intensitatea sunetelor reflectate într-o încăpere dată este constantă, în timp ce intensitatea acustică a undelor directe scade cu pătratul distanței pînă într-un punct aflat de la sursa sonoră la distanța:

$$r_0 = \frac{\sqrt{S_a}}{7,1} \quad (28)$$

în care cele două intensități sînt egale  $I_d = I_r$ .

Rezultă deci următoarea predominare a câmpurilor sonore în funcție de distanță:

$r < r_0$  ..... câmpul direct  
 $r > r_0$  ..... câmpul reverberant

Dacă sursa este unidirecțională, din relația (27), rezultă că directivitatea nu afectează decît undele acustice directe prin termenul  $\varphi_d$ .

În baza relațiilor (15) și (16), rezultă expresia nivelului de presiune acustică:

$$\begin{aligned} L_p &= 10 \log \frac{P}{P_0} + 10 \log \left( \frac{\varphi_d}{k \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{S_a} \right) = \\ &= L_P + 10 \log \left( \frac{\varphi_d}{k \cdot \pi \cdot r^2} + \frac{4}{S_a} \right) \quad [dB] \end{aligned} \quad (29)$$

care este expresia generală a nivelului de presiune în funcție de nivelul de putere acustică. Prin particularizare, rezultă următoarele relații:

- pereți absorbantți integral, sursă unidirecțională:

$$S_a = \infty \quad L_p = L_P + 10 \log \frac{\varphi_d}{k \cdot \pi \cdot r^2} \quad [dB] \quad (30)$$

- pereți absorbantți integral, sursă omnidirecțională:

$$S_a = \infty \quad \varphi_d = 1 \quad L_p = L_P + 10 \log \frac{1}{k \cdot \pi \cdot r^2} \quad [dB] \quad (31)$$

Prelungirea existenței sunetului într-o încăpere, după încetarea emisiei de către sursa sonoră, se numește reverberație și apare datorită numeroaselor reflexii determinate de suprafețele încăperii.

Ecoul este o reproducere distinctă a unui sunet, după încetarea emisiei sursei sonore, datorită reflexiei undelor sonore de un ecran reflectant situat între sursă și ascultător.

După încetarea emisiei sursei, intensitatea acustică este nulă. Timpul necesar pentru scăderea intensității sau a presiunii se numește durata de reverberație și se poate determina [12], [46] cu ajutorul relației lui Sabine:

$$T = \frac{0,161 \cdot V}{A} \quad (32)$$

unde:

$V$  - volumul încăperii

$A = \sum_i \alpha_i S_i$ , este absorbția acustică totală

$\alpha_i$  - coeficienți de absorbție unitară

Se constată că timpul de reverberație este independent de puterea sursei, dar depinde de volumul și gradul de absorbție al încăperii respective și de frecvență prin intermediul coeficienților de absorbție.

### 1.7 - Vibrații mecanice

Mișcarea continuă sau periodică, în regim staționar, a unei particole materiale, în jurul poziției de echilibru se numește vibrație. Mișcarea poate pune în funcțiune particole de aer când apare sunetul aerian, sau poate pune în funcțiune structurile solide când se numește vibrație mecanică și apare sunetul structural.

Parametrii vibrațiilor mecanice sînt:

- deplasarea sau amplitudinea
- viteza
- accelerația

Dacă vibrația este o funcție sinusoidală de timp, deplasarea este o mișcare armonică de forma:

$$y = Y \cdot \sin \omega t \quad (33)$$

unde:

$Y$  - amplitudinea simplă a vibrației  
 $\omega = 2\pi f = 2\pi \frac{1}{T}$  , este frecvența circulară  
 $T$  - perioada mișcării

Cunoașterea deplasărilor este necesară în studiul deformațiilor.

Viteza vibrației unei suprafețe care radiază energie sonoră reprezintă variația deplasării în unitate de timp, adică:

$$v = \frac{dy}{dt} = \omega \cdot Y \cdot \cos \omega t \quad (34)$$

Din această relație rezultă că viteza este direct proporțională cu amplitudinea și cu frecvența vibrației.

Pentru aprecierea forței care determină vibrația corpurilor se necesită cunoașterea accelerației, care este proporțională cu forța aplicată masei și reprezintă variația vitezei în unitate de timp, adică:

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2y}{dt^2} = -\omega^2 \cdot Y \cdot \sin \omega t = -\omega^2 \cdot y \quad (35)$$

Rezultă că accelerația este proporțională cu pătratul frecvenței vibrației și cu amplitudinea sau deplasarea.

Dar vibrațiile pot fi și nesinusoidale, care ca toate oscilațiile complexe, prin descompunere în serie Fourier, pot fi reprezentate prin vibrații sinusoidale armonice.

Ca urmare, armonicile unei vibrații complexe au viteze și accelerații cu atât mai mari cu cât este mai înalt numărul de ordine, respectiv frecvența armonice.

Accelerația unei vibrații se poate măsura cu ajutorul unui traductor numit accelerometru, iar viteza și depla-

sarea vibrației sinusoidale se obține matematic cu ajutorul relațiilor:

$$v = \int_0^t a \cdot dt = Y \int_0^t \sin \omega t \cdot dt = -\frac{Y}{\omega} \cos \omega t \quad (36)$$

$$y = \int_0^t \int_0^t (a \cdot dt) \cdot dt = \int_0^t v \cdot dt = -\frac{Y}{\omega} \int_0^t \cos \omega t \cdot dt = -\frac{Y}{\omega^2} \sin \omega t \quad (37)$$

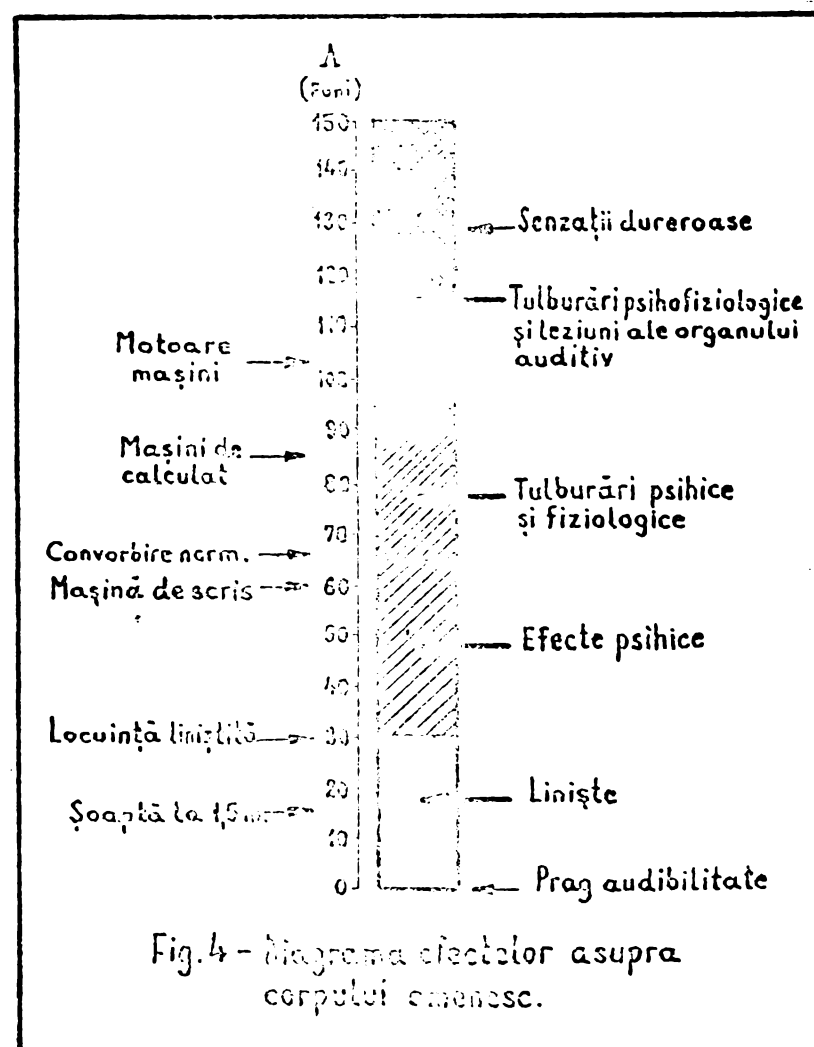
### 1.8 - Consecințele dăunătoare ale zgomotului și vibrațiilor

Sub raportul senzației auditive perceperea unui sunet este însoțită de o senzație subiectivă plăcută, în timp ce perceperea unui zgomot - de o senzație subiectivă neplăcută.

În funcție de nivelul de tărie, zgomotul produce asupra omului o serie de efecte dăunătoare atât fiziologic, cât și psihologic, constând din:

- afecțiuni ale organului auditiv
- afecțiuni ale diferitelor organe și aparate ale omului, perturbând funcțiile secretoare și motoare ale stomacului
- afecțiuni psihice
- împiedicarea concentrării atenției și reduce productivitatea muncii și capacitatea de muncă
- modificări ale sistemului cardio-vascular și ale ritmului de contracție a cordului
- reducerea inteligibilității vorbirii

În fig.4 sînt reprezentate schematic consecințele dăunătoare ale zgomotului asupra corpului omenesc.



Efectele dăunătoare ale zgomotului depind de factorii:

- intensitate
- frecvență
- durata de acțiune

și sînt agravate dacă zgomotul este însoțit de vibrații mecanice, iar în spectrul de frecvență apar și sunete pure mai ales de frecvențe înalte.

De asemenea, dacă nivelul de intensitate al zgomotului depășește cu 85-90 dB pragul de audibilitate, are loc o slăbire permanentă a percepției auditive. Din acest motiv se consideră 85 dB ca nivel maxim admisibil de zgomot la frecvența de 1000 Hz.

Sub acțiunea unui zgomot puternic, tensiunea arterială crește, pulsul se accelerează, tensiunea vasculară intracraniană se poate mări de trei ori, agerimea vederii scade, ritmul respirației se modifică. Zgomotul conduce la obosirea

generală a organismului omenesc. Zgomotul afectează munca fizică, dar mai ales cea intelectuală, care cere o concentrare deosebită a atenției. În epoca actuală, datorită progresului tehnic uriaș, s-a înregistrat cel mai înalt nivel de zgomot din cele întâlnite pînă în prezent.

Efectele iritante ale vibrațiilor asupra organismului omenesc sînt proporționale cu amplitudinea vitezei vibrațiilor și sînt prezentate în fig.5 sub formă de curbe de egală senzație cu efectele fiziologice respective.

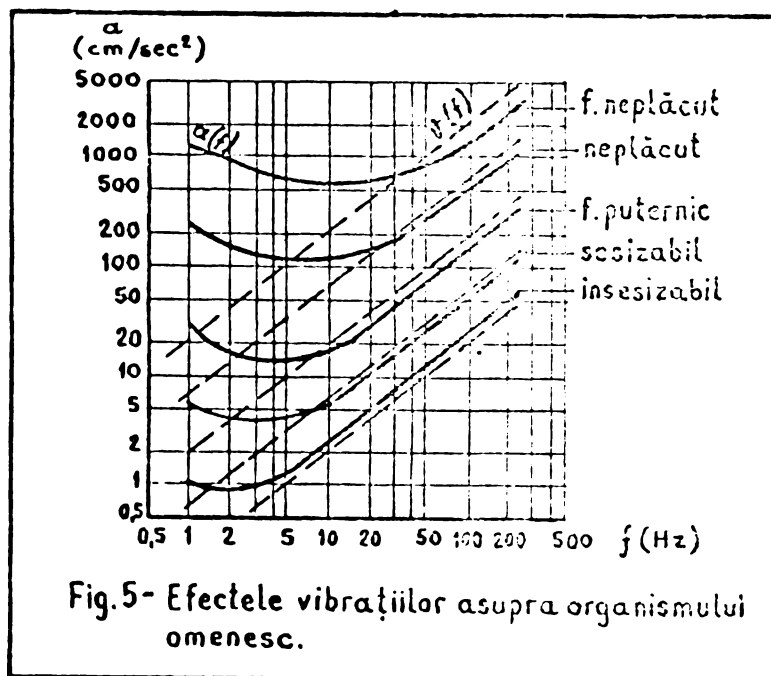


Fig.5- Efectele vibrațiilor asupra organismului omenesc.

## 2. ZGOMOTUL HIDROGENERATOARELOR

Progresul tehnic realizat în domeniul mașinilor electrice în general, concretizat prin reducerea greutateii și a prețului de cost, a atras după sine creșterea nivelului de zgomot.

Mașinile electrice moderne de mare putere, printre care se află și hidrogeneratoarele, se deosebesc de cele vechi prin:

- gradul ridicat de utilizare a materialelor active realizat pe seama creșterii solicitărilor electromagnetice, termice, de ventilație și mecanice;
- înlocuirea fontei cu tablă laminată sudată.

Ca urmare, inducțiile din întrefier au crescut cu cca 35 %, solicitările mecanice - cu cca 50 %, iar solicitările termice și de ventilație - cu cca 30 %. În consecință s-au majorat substanțial forțele electromagnetice dintre stator și rotor.

Inlocuirea construcțiilor turnate prin construcții sudate a determinat înlocuirea fontei prin oțelul laminat, care are gradul de atenuare acustică internă de 50÷1000 ori mai mic decât fonta, fapt ce a condus la apariția fenomenului de rezonanță.

Consecința finală și negativă a tuturor acestor măsuri, determinate de progresul tehnic, a fost creșterea nivelului de zgomot și de vibrații, cu toate efectele sale dăunătoare față de om.

Zgomotul hidrogeneratoarelor este rezultatul acțiunii simultane a următoarelor componente:

- zgomotul electromagnetic
- zgomotul aerodinamic
- zgomotul mecanic

care, în cele ce urmează, vor fi examinate fiecare în parte.



## 2.1 - ZGOMOTUL ELECTROMAGNETIC

Zgomotul electromagnetic este determinat de vibrațiile mecanice ale subansamblelor hidrogenatorului, produse de forțele magnetice aplicate pe suprafața interioară a statorului și cea exterioară a rotorului, respectiv pe dinții statorului și tălpile polare ale rotorului. De la dinții statorului vibrațiile se transmit la jug, apoi la carcasă, de unde zgomotul este radiat, o parte în aer sub formă de zgomot aerian, iar cealaltă parte - spre fundație sub formă de zgomot structural.

Forțele magnetice ca și vibrațiile au o distribuție periodică în funcție de spațiu și de timp și sînt rezultatul interacțiunii sau interferenței armonicelor de cîmp din întrefier.

Pentru determinarea zgomotului electromagnetic trebuie examinate două probleme independente și anume:

- vibrația mecanică de natură electromagnetică
- deformația statorului și proprietățile sale mecanice

În acest scop trebuie determinate cîmpurile magnetice, forțele magnetice și deformațiile statorului.

### 2.1.1 - Cîmpurile magnetice din întrefier

În cazul hidrogenatoarelor înfășurarea rotorului, care se rotește odată cu rotorul, fiind parcursă de curentul continuu de excitație, produce un cîmp magnetic al roții polare. Acest cîmp rotitor este produs pe cale mecanică, prin intermediul curenților de conducție.

Deoarece hidrogenatoarele sînt generatoare sincrone cu poli aparenti, avînd întrefier variabil între talpa polară și stator, curba de repartiție a componentei radiale a inducției din întrefier de-a lungul pasului polar, la mersul în gol, are o formă dreptunghiular-curbilinie, ca în fig.6, care depinde de mărimea întrefierului  $\delta$  și de coefi-

cientul de acoperire a polului  $\alpha_i$ .

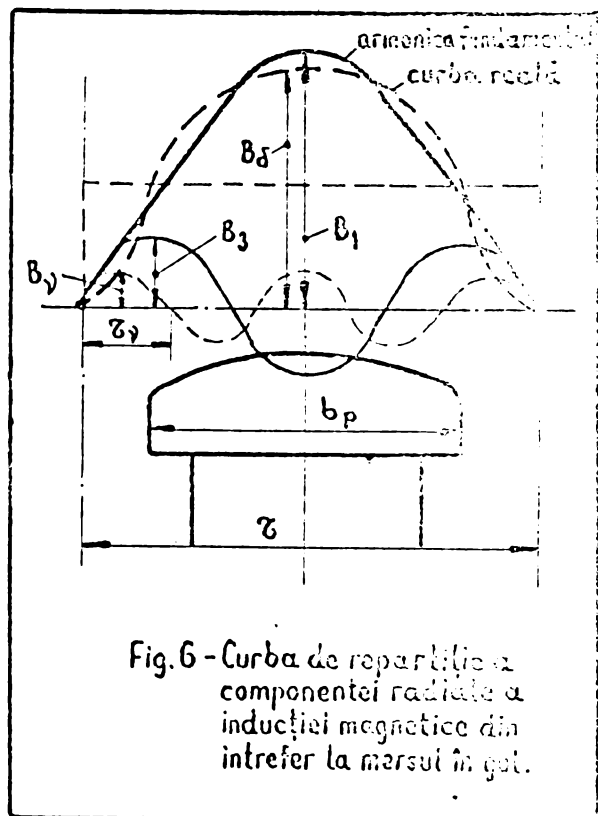


Fig.6 - Curba de repartiție a componentei radiale a inducției magnetice din întreaga la mersul în gol.

Descompunând curba reală  $B_\delta$  în serie Fourier, rezultă armonice fundamentale de câmp cu amplitudinea  $B_1$  și o serie de armonice de câmp de ordinul  $\nu$ , cu amplitudinile  $B_\nu$ .

Pentru armonica de ordinul  $\nu$ , pasul polar, numărul perechilor de poli și frecvența sînt definite cu ajutorul relațiilor:

$$\tau_\nu = \frac{\tau}{\nu} \quad (38)$$

$$p_\nu = \nu \cdot p \quad (39)$$

$$f_\nu = \nu \cdot f \quad (40)$$

Ca urmare, pe lângă câmpul magnetic principal, care determină tensiunea la borne, apar și o serie de câmpuri armonice produse de creșterea statorului, de repartiția înfășurării statorului, de polii aparenti ai rotorului, de saturația magnetică a dinților și de excentricitatea dintre rotor și stator. Aceste câmpuri armonice au un caracter parazit și înrăutățesc funcționarea hidrogenatoarelor prin următoarele fenomene negative:

- apariția zgomotului și vibrațiilor
- reducerea tensiunii la borne
- majorarea pierderilor suplimentare

avînd fiecare o anumită pondere în procesul de apariție a zgomotului și vibrațiilor.

Dacă înfășurarea are numărul de creștături pe pol și fază  $q = \text{întreg}$ , apar armonici superioare, iar dacă  $q = \text{fracționar}$ , apar armonici fracționare (inferioare sau subarmonici).

Prezența creștăturilor din stator și a polilor apariți din rotor se manifestă prin variația reluctanței magnetice din întrefier în timpul rotației rotorului.

Valorile inducțiilor magnetice ale câmpurilor armonice produse de înfășurare sînt determinate de fluxuri, care depind de numărul de spire pe fază și de factorul de înfășurare, precum și de circuitul magnetic caracterizat de valoarea întrefierului și de factorul lui Carter.

Cîmpurile armonice din dinți sînt determinate de caracteristicile zonelor dințate ale statorului și rotorului, constînd din forma și dimensiunile creștăturilor, pasul creștăturilor, mărimea întrefierului, forma tălpii polare și raportul dintre lățimea tălpii polare ~~este~~ <sup>și</sup> pasul polar.

Cîmpurile armonice superioare, determinate de saturația magnetică și de excentricitatea rotorului față de stator, au de obicei oscilații de ordin scăzut, frecvențele lor fiind un multiplu al frecvenței rețelei.

În cele ce urmează vor fi luate în considerare numai înfășurările cu  $q = \text{întreg}$ , după care vor fi tratate separat înfășurările fracționare.

Ca urmare, cîmpurile magnetice ale armonicilor superioare produse de înfășurările statorice simetrice, cu  $q = \text{întreg}$ , repartizate în creștături, se pot exprima cu ajutorul relației:

$$b_p(x, t) = B_p \cdot \cos(\gamma_p x - 2\pi f_p t - \varphi_p) \quad (41)$$

unde:

$$B_p = \frac{\sin(\gamma_p \frac{b_1}{2R})}{\gamma_p \sin(\frac{b_1}{2R})} B_p \quad , \text{ amplitudinea armoniciei de cîmp [24].}$$

$B_p$  - inducția din pol

$b_1$  - arcul polar ideal

$R = \frac{D}{2}$  , este raza interioară a statorului

$x$  - coordonata spațială a punctului dat

$t$  - timpul

$\varphi_0$  - defazajul undei

$\nu = 2mk_1 + 1 = 6k_1 + 1$ , este numărul de ordine al armonicei,

$k_1 = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$ , număr întreg

Cîmpurile armonice se închid prin capetele dinților și sînt dependente de curentul din stator, fiind în același timp influențate în mod deosebit de armonicile de crestătură a repartizării înfășurării statorului.

În mod similar se pot exprima și cîmpurile armonicelor superioare ale crestăturilor statorului, cu ajutorul relației:

$$b_\mu(x, t) = B_\mu \cdot \cos\left(\mu p x - 2\pi f_\mu t - \varphi_\mu\right) \quad (42)$$

unde:

$$B_\mu = B_1 \cdot k(k_c - 1) \frac{\sin\left(\frac{k}{k_c} \frac{k_c - 1}{k_c} \pi\right)}{\frac{k}{k_c} \frac{k_c - 1}{k_c} \pi}, \text{ amplitudinea armoniceii de cîmp}$$

$B_1$  - amplitudinea armoniceii fundamentale

$k_c$  - factorul lui Carter

$k = \pm 1, \pm 2, \pm 3 \dots$ , număr întreg

$\mu = 2mqk + 1 = \frac{N_1}{p} k + 1$ , este numărul de ordine al armoniceii

$N_1$  - numărul de crestături din stator

Pentru cîmpurile armonice din întrefierul hidrogenatoarelor se pot stabili relații [46] dependente de caracteristicile principale ale statorului crestătat, ale polilor și ale întrefierului. Astfel, se consideră cazul cel mai simplu al unui hidrogenator la mersul în gol, cu statorul neted și avînd curba de cîmp a polilor de formă dreptunghiulară, ca în fig.7. Descompunînd în serie Fourier, cîmpul roții polare raportat la statorul neted și la mersul în gol, are expresia:

$$b_F(x, t) = \frac{4}{\pi} B_F \cdot \sum \left( \frac{p}{p_{\nu i}} \right) \sin\left(p_{\nu i} \frac{b_i}{2R}\right) \cdot \cos\left[p_{\nu i} x - \frac{p_{\nu i} \cdot 2\pi \cdot f_n}{p} t - p_{\nu i} \cdot \varphi\right] \quad (43)$$

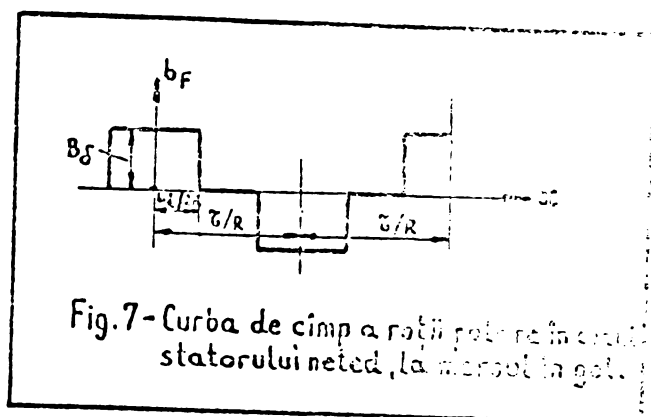


Fig. 7 - Curba de câmp a rotii polare în cazul statorului neted, la mers în gol.

unde:

$B_{\delta}$  - amplitudinea inducției în întrefier și axa polului

$\gamma^I$  - numărul de ordine al armonice de câmp a rotii polare în cazul statorului neted

$f_m$  - frecvența rețelei

Influența creșterii statorului asupra acestei curbe de câmp se ia în considerare prin permeanța magnetică a statorului prevăzut cu creștături deschise, care pentru armonica de creștătură fundamentală, are expresia:

$$\Lambda_1 = 1 + (k_c - 1) \cdot \cos N_1 \cdot x \quad (44)$$

unde  $N_1$  este numărul de creștături din stator.

Se ia în considerare armonica de creștătură, fundamentală, deoarece factorul de zonă al tuturor armonicilor de creștătură este egal cu cel al fundamentalei.

Inmulțind expresiile (43) și (44) rezultă expresia câmpului magnetic de creștere a statorului:

$$b_{\mu}(x, t) = b_F(x, t) \cdot \Lambda_1 = \frac{2}{\pi} B_{\delta} (k_c - 1) \sum_{p_{\gamma''}} \left( \frac{p}{p_{\gamma''}} \right) \cdot \sin \left( p_{\gamma''} \frac{b_i}{2R} \right) \cdot \cos \left[ (p_{\gamma''} \pm N_1) x - \frac{p_{\gamma''} \cdot 2\pi \cdot f_m}{f_0} t - p_{\gamma''} \cdot \varphi \right] \quad (45)$$

unde  $\gamma''$  este numărul de ordine al armonice de câmp în cazul statorului creștat.

Curba de câmp rezultantă a hidrogenatorului, pentru regimul de mers în gol, se obține prin însumarea relațiilor (43) și (45) după cum urmează:

$$\begin{aligned}
b(x,t) = b_F(x,t) + b_M(x,t) = & - \sum_{\nu'} \left( \frac{1}{\nu'} \right) \sin \left( \nu' p \frac{b_i}{2R} \right) \cdot \\
& \cdot \cos \left[ \nu' p x - \nu' \cdot 2\pi \frac{f_n}{p} \cdot t - \nu' \cdot p \cdot \varphi \right] + \frac{k_c - 1}{2} \sum_{\nu''} \left( \frac{1}{\nu''} \right) \cdot \sin \left( \nu'' p \frac{b_i}{2R} \right) \cdot \\
& \cdot \cos \left[ (\nu'' p \pm N_1) \cdot x - \nu'' \cdot 2\pi \frac{f_n}{p} \cdot t - \nu'' \cdot p \cdot \varphi \right]
\end{aligned}
\tag{46}$$

Această curbă se poate obține experimental, oscilografic TEM indusă într-o spiră de control, înfășurată în jurul jugului statoric prin întrefier.

Cunoscînd cîmpul magnetic rezultat din întrefier se cunosc pe de o parte forțele magnetice radiale aplicate în interiorul statorului, care sînt o măsură a deformației fierului activ, iar pe de altă parte - forțele de tracțiune rezultante aplicate fiecărui pol, care sînt o măsură a deformației jugului rotorului.

La o altă formă de cîmp decît cea considerată, cauzată de distribuția permeanței magnetice în dreptul golului interpolar, se modifică expresia

$$\left( \frac{p}{p'} \sin p' \frac{b_i}{2R} \right) = \left( \frac{1}{\nu} \sin \nu p \frac{b_i}{2R} \right)$$

denumită factor de amplitudine, care poate fi determinată pentru fiecare caz.

La funcționarea hidrogenatoarelor în gol, apar cîmpurile superioare ale creștăturilor, iar la mersul în sarcină sînt preponderente cîmpurile armonice produse de repartiția înfășurării în creștături. Scurtarea înfășurării nu conduce în toate cazurile la reducerea zgomotului magnetic, deoarece armonica rezultantă de creștătură poate avea același sens sau sens contrar față de sensul de rotație și ca urmare poate avea loc o întărire, respectiv o slăbire a cîmpului rezultat.

La regimul de mers în sarcină pot apare și armonicele superioare de cîmp determinate de saturația magnetică și ca urmare amplitudinile respective, față de cele de la mersul

în gol, vor fi aproximativ proporționale cu valorile curenților de excitație respectivi.

### 2.1.2 - Forțele magnetice din întrefier

Armonicile de câmp produse de stator și de rotor își au sediul în întrefierul hidrogenatoarelor, unde are loc un proces de interferență a acestora în urma căruia apar undele rotitoare de forțe magnetice, care în final produc vibrațiile și zgomotul hidrogenatoarelor. Forțele magnetice din întrefier se pot descompune după cele trei direcții  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , indicate în fig.8, având următoarele componente:

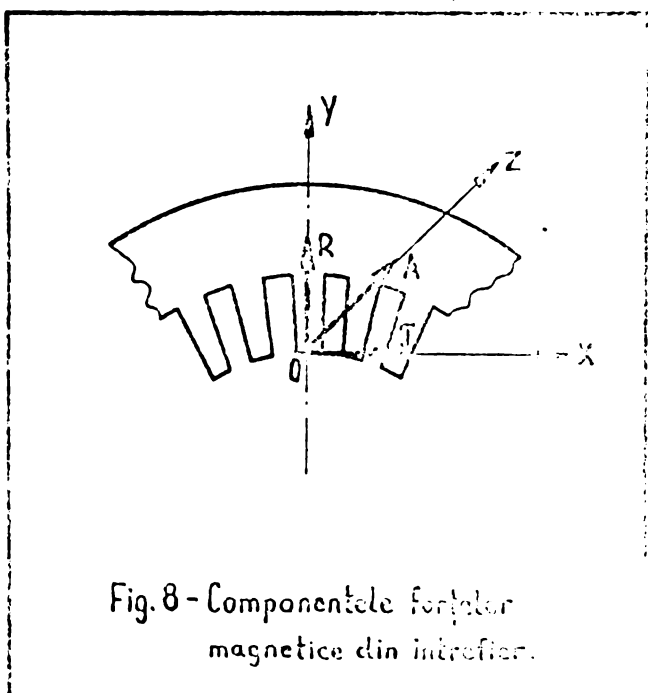


Fig.8 - Componentele forțelor magnetice din întrefier.

- Componenta axială (A), acționează după axa longitudinală a hidrogenatorului și provoacă umflarea fierului activ al statorului, care este însă atenuată prin soluția constructivă de presare realizată de buloanele și plăcile de strângere cu degetele de presare. Dacă realizarea fierului activ nu este realizată corect, atunci componentele axiale pot determina vibrații axiale ale dinților, care în final conduc la creșterea nivelului de zgomot, iar cu timpul la ruperea

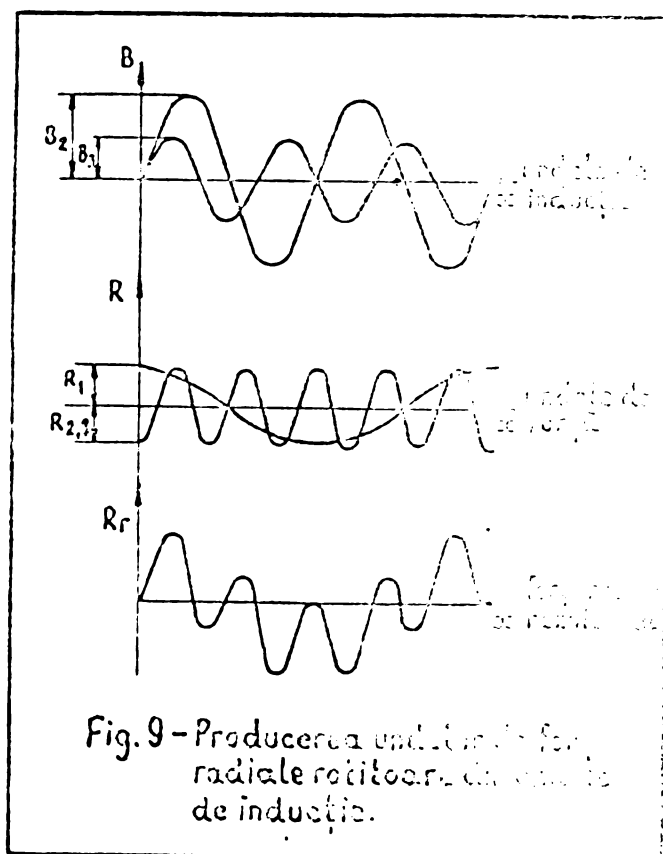
lor din pachetelo terminale.

- Componenta tangențială (T) acționează în planul tangențial al statorului și are tendința de a provoca oscilația dinților statorului, care este atenuată prin serajul realizat între bobine și creștături. Realizarea unui seraj bun conduce la reducerea vibrațiilor dinților și a nivelului de zgomot, îmbunătățind în același timp trecerea căldurii.

- Componenta radială (R) determină oscilații care solicită statorul la întindere, compresiune sau încovoiere și

este sursa principală a vibrațiilor și zgomotului de natură electromagnetică a hidrogenatoarelor.

Undele de forțe magnetice radiale se rotesc pe suprafața interioară a statorului și sînt produse de componentele radiale ale armonicelor de cîmp din întrefier, așa cum se arată schematic în fig.9.



Numărul de ordine al undelor de forță este egal cu suma algebrică a numărului de ordine al armonice de cîmp produsă de stator  $\nu$  și de rotor  $\varrho$ , adică :

$$r = \nu \pm \varrho = |\nu - \varrho| \quad (47)$$

Pentru un domeniu  $r = 0 \div 5$  undele de forță pot fi produse de armonicile de cîmp ale statorului și rotorului, avînd numărul de ordine și sensul precizat în tab.2

Examinînd tabela 2, rezultă că undele de forțe radiale pot fi produse în următoarele cazuri:

$r = 0$  ..... Nu există armonici de cîmp; sau armonicile de cîmp existente au ordin egal și sensuri identice sau opuse.

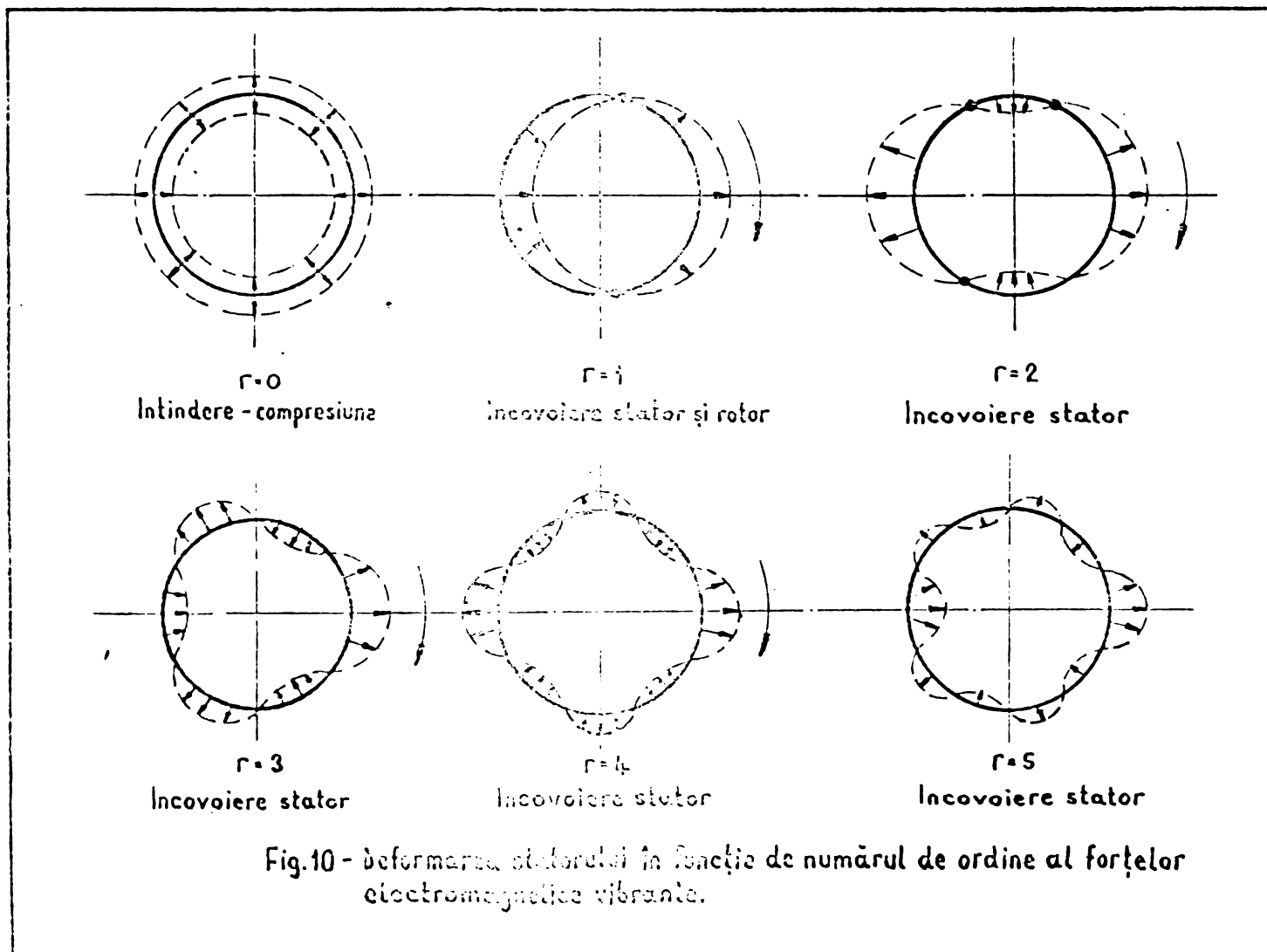
$r = 1 \div 5$  ..... Există o singură armonică de ordinul respectiv  $1 + 5$ ; armonicile de cîmp existente au ordin ce diferă respectiv cu  $1-5$ , avînd sensuri identice sau opuse.



Tabela 2 - Numărul de ordine și sensul armonicelor de cimp care determină unde de forță de ordinul  $r = 0-5$ .

| $r=0$   |            | $r=1$  |            | $r=2$  |            | $r=3$  |            | $r=4$  |            | $r=5$  |          |
|---|------------|--|------------|--|------------|--|------------|--|------------|--|----------|
| $\surd$   | $\wp$      | $\surd$  | $\wp$      | $\surd$  | $\wp$      | $\surd$  | $\wp$      | $\surd$  | $\wp$      | $\surd$  | $\wp$    |
| 0   | 0          | 0  | $\pm 1$    | 0  | $\pm 2$    | 0  | $\pm 3$    | 0  | $\pm 4$    | 0  | $\pm 5$  |
| +1  | $\bar{+}1$ | +1   | 0          | +1   | $\pm 1$    | +1   | $\pm 2$    | +1   | $\pm 3$    | +1   | $\pm 4$  |
| +2  | $\bar{+}2$ | +2   | $\bar{+}1$ | +2   | $\pm 0$    | +2   | $\pm 1$    | +2   | $\pm 2$    | +2   | $\pm 3$  |
| +3  | $\bar{+}3$ | +3   | $\bar{+}2$ | +3   | $\bar{+}1$ | +3   | $\pm 0$    | +3   | $\pm 1$    | +3   | $\pm 2$  |
| +4  | $\bar{+}4$ | +4   | $\bar{+}3$ | +4   | $\bar{+}2$ | +4   | $\bar{+}1$ | +4   | $\pm 0$    | +4   | $\pm 1$  |
| +5  | $\bar{+}5$ | +5   | $\bar{+}4$ | +5   | $\bar{+}3$ | +5   | $\bar{+}2$ | +5   | $\bar{+}1$ | +5   | $\pm 0$  |
| -1  | $\pm 1$    | -1   | $\pm 2$    | -1   | $\pm 3$    | -1   | $\pm 4$    | -1   | $\pm 5$    | -1   | $\pm 6$  |
| -2  | $\pm 2$    | -2   | $\pm 3$    | -2   | $\pm 4$    | -2   | $\pm 5$    | -2   | $\pm 6$    | -2   | $\pm 7$  |
| -3  | $\pm 3$    | -3   | $\pm 4$    | -3   | $\pm 5$    | -3   | $\pm 6$    | -3   | $\pm 7$    | -3   | $\pm 8$  |
| -4  | $\pm 4$    | -4   | $\pm 5$    | -4   | $\pm 6$    | -4   | $\pm 7$    | -4   | $\pm 8$    | -4   | $\pm 9$  |
| -5  | $\pm 5$    | -5   | $\pm 6$    | -5   | $\pm 7$    | -5   | $\pm 8$    | -5   | $\pm 9$    | -5   | $\pm 10$ |
| -Nu există armonici.<br>- Armonica din stator de ordin egal cu cea din rotor, având sensuri identice sau opuse. |            | -0 singură armonică de ordinul 1 în stator sau în rotor.<br>- Armonici cu ordine ce diferă cu 1, având sensuri identice sau opuse. |            | -0 singură armonică de ordinul 2 în stator sau în rotor.<br>- Armonici cu ordine ce diferă cu 2, având sensuri identice sau opuse. |            | -0 singură armonică de ordinul 3 în stator sau în rotor.<br>- Armonici cu ordine ce diferă cu 3, având sensuri identice sau opuse. |            | -0 singură armonică de ordinul 4 în stator sau în rotor.<br>- Armonici cu ordine ce diferă cu 4, având sensuri identice sau opuse. |            | -0 singură armonică de ordinul 5 în stator sau în rotor.<br>- Armonici cu ordine ce diferă cu 5, având sensuri identice sau opuse. |          |

de ordine ale undelor de forțe radiale  $r$  ce acționează, pentru care deformațiile statoarelor și solicitările produse sînt prezentate în fig.10. Numărul de noduri, respectiv de bucle este egal cu  $2r$ .



Examinînd deformarea statorului în funcție de numărul de ordine  $r$  al undelor de forțe magnetice radiale, din fig.10, se constată următoarele:

- Undele de forțe radiale de ordinul zero ( $r=0$ ) determină o solicitare la întindere și compresiune periodică a statorului, în mod concentric. Se zice că fierul activ al statorului „respiră”.

- Undele de forțe radiale de ordinul unu ( $r=1$ ) deformează fierul activ după o elipsă, iar rotorul este atras unilateral, determinînd o solicitare la încovoiere a statorului și rotorului. Au loc oscilații de pendulare în raport cu punctele nodale.

- Undele de forțe radiale de ordinul doi și mai mare ( $r \geq 2$ ) deformează fierul activ după un elipsoid de rotație cu două, respectiv mai multe unde repartizate pe periferia fierului activ, determinând o solicitare la încovoiere a jugului.

Undele de forțe magnetice radiale din întrefierul hidrogenatorului deformează periodic statorul determinând vibrațiile mecanice și zgomotul de natură electromagnetică, care sînt cu atît mai pronunțate cu cît numerele de ordine  $r$  sînt mai mici.

Deoarece componentele axială și tangențială a forțelor magnetice sînt mici în raport cu componenta radială, fiind anihilate prin măsuri constructive, rămîne practic să se ia în considerare numai componenta radială a inducției.

Statorul deformat în modul descris mai sus, după unda de deformare care se rotește pe periferia acestuia, determină în mediul înconjurător unde sonore, a căror intensitate depinde de următorii factori:

- numărul de ordine  $r$  și frecvența  $f_r$  a forțelor magnetice radiale aplicate;
- frecvența oscilațiilor proprii  $f_{rFe}$  ale statorului;
- caracteristicile acustice ale radiatorului

Undele de forțe magnetice radiale, rotitoare în raport cu un sistem de coordonate fix față de stator, avînd originea în centrul statorului, se pot exprima cu ajutorul relației:

$$\chi_r = R_r \cdot \cos(\pi x - 2\pi f_r t - \psi_r) \quad (48)$$

unde:

$R_r$  - amplitudinea forței magnetice radiale

$x$  - coordonata spațială pe interiorul statorului

$t$  - timpul

Forțele magnetice radiale specifice, adică pe unitate de suprafață, sînt proporționale cu pătratul componentei normale a inducției în întrefier:

$$\tau = \frac{[b(x,t)]^2}{2\mu_0} = \frac{10^7 [b(x,t)]^2}{2,4 \cdot \pi} \quad (49)$$

În întrefierul hidrogenatoarelor pot apare una, două sau mai multe unde rotitoare ale armonicilor de câmp, pentru care se va examina în cele ce urmează particularitățile de producere a forțelor magnetice radiale, în fiecare caz.

#### Cazul 1

În întrefier apare o singură armonică de câmp, de ordin superior, pentru care pe baza relației (41) și pentru  $\nu = 2$ , se poate scrie relația:

$$b_2 = B_{\delta 2} \cdot \cos(2p\alpha - 2\pi f_2 \cdot t - \varphi_2) \quad (50)$$

pentru care pe baza relației (49) forța magnetică radială specifică are expresia:

$$\begin{aligned} \tau &= \frac{1}{2 \cdot \mu_0} B_{\delta}^2 [1 + \cos 2(2p\alpha - 2\pi f_2 \cdot t - \varphi_2)] = \\ &= \frac{B_{\delta}^2}{2\mu_0} + \frac{B_{\delta}^2}{2\mu_0} \cos 2(2p\alpha - 2\pi f_2 \cdot t - \varphi_2) \end{aligned} \quad (51)$$

Din relația (51), rezultă că forța magnetică are 2 componente și anume o componentă aperiodică, de valoare constantă:

$$\frac{B_{\delta}^2}{2\mu_0} \quad (52)$$

oare produce o solicitare de pretensionare fără oscilații

și o componentă rotitoare de valoare variabilă, care produce oscilații și se suprapune peste prima componentă, avînd expresia:

$$\frac{B_{\delta}^2}{2\mu_0} \cos 2(2p\alpha - 2\pi f_2 t - \varphi_2) \quad (53)$$

ambele avînd amplitudine egală. Conform tabelii 2 acest caz poate determina unde de forțe magnetice radiale de ordinul  $r \geq 1$ , la care componenta constantă produce o solicitare pură la tracțiune, iar componenta variabilă - o solicitare la încovoiere, rezultînd în final o solicitare compusă la tracțiune și încovoiere, spre deosebire de unele aprecieri din literatura despecialitate [23], care consideră că are loc o solicitare la încovoiere.

#### Cazul 2

În întrefier apar 2 armonici superioare de cîmp, care pentru  $\nu = 2$  și  $\nu = 3$  au expresiile:

$$b_2 = B_{\delta 2} \cdot \cos(2p\alpha - 2\pi f_2 t - \varphi_2) \quad (54)$$

$$b_3 = B_{\delta 3} \cdot \cos(3p\alpha - 2\pi f_3 t - \varphi_3) \quad (55)$$

Forța magnetică radială specifică corespunzătoare, este:

$$\begin{aligned} r &= \frac{1}{2\mu_0} (b_2 + b_3)^2 = \frac{1}{2\mu_0} (b_2^2 + 2b_2 \cdot b_3 + b_3^2) = \\ &= \frac{1}{2\mu_0} \left\{ B_{\delta 2}^2 \cdot \cos^2(2p\alpha - 2\pi f_2 t - \varphi_2) + \right. \\ &\quad + 2 \cdot B_{\delta 2} \cdot B_{\delta 3} \cdot \cos(2p\alpha - 2\pi f_2 t - \varphi_2) \cdot \cos(3p\alpha - 2\pi f_3 t - \varphi_3) + \\ &\quad \left. + B_{\delta 3}^2 \cdot \cos^2(3p\alpha - 2\pi f_3 t - \varphi_3) \right\} = \\ &= R_{2,3} \cdot \cos[(p_2 \pm p_3)\alpha - 2\pi(f_2 \pm f_3)t - (\varphi_2 \pm \varphi_3)] \quad (56) \end{aligned}$$

Examinînd cei trei termeni din paranteza mare, rezultați din ridicarea la pătrat a sumei celor două armonice de câmp, rezultă că termenii reprezentînd pătratul inducțiilor au numerele de ordine de cîteva ori numărul perechilor de poli, motiv pentru care au o pondere mică în producerea zgomotului și deci pot fi neglijați. Ca urmare se va lua în considerare numai termenul care exprimă produsul inducțiilor, deoarece au ponderea predominantă în formarea zgomotului și ca urmare elementele forței magnetice radiale specifice sînt:

- amplitudinea:

$$\mathcal{R}_{2,3} = \frac{B_{\delta 2} \cdot B_{\delta 3}}{2 \mu_0} \quad (57)$$

- numărul de ordine:

$$r = p_2 \pm p_3 = \gamma_2 p \pm \gamma_3 p = (\gamma_2 \pm \gamma_3) p \quad (58)$$

- frecvența:

$$f_r = f_2 \pm f_3 = (\gamma_2 \pm \gamma_3) \cdot f \quad (59)$$

- unghiul de fază:

$$\varphi_r = \varphi_2 \pm \varphi_3 \quad (60)$$

### Cazul 3

În întrefier sînt prezente trei sau mai multe armonici de câmp, avînd expresia generală din relația (46), pentru care forța magnetică radială specifică este:

$$\begin{aligned} \mathcal{U}(x,t) &= \frac{[b(x,t)]^2}{2 \mu_0} = \\ &= \frac{1}{2 \mu_0} B_{\delta}^2 \left\{ \left[ \sum_{\gamma'} \left( \frac{1}{\gamma'} \right) \sin \left( \gamma' p \frac{b_i}{2R} \right) \cdot \cos \left( \gamma' p x - \gamma' 2\pi f_n t - \gamma' p \varphi \right) \right]^2 + \right. \\ &+ \left[ \frac{k_c - 1}{2} \sum_{\gamma''} \left( \frac{1}{\gamma''} \right) \cdot \sin \left( \gamma'' p \frac{b_i}{2R} \right) \cdot \cos \left[ \left( \gamma'' p \pm N_1 \right) x - \gamma'' 2\pi f_m t - \gamma'' p \varphi \right] \right]^2 + \\ &+ \frac{k_c - 1}{2} \sum_{\gamma'} \sum_{\gamma''} \left( \frac{1}{\gamma'} \right) \left( \frac{1}{\gamma''} \right) \cdot \sin \left( \gamma' p \frac{b_i}{2R} \right) \sin \left( \gamma'' p \frac{b_i}{2R} \right) \cdot \end{aligned}$$

$$\cdot \cos \left[ (\nu' p \pm [\nu'' p \pm N_1]) x - (\nu' \pm \nu'') \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot t - (\nu' \pm \nu'') p \cdot \varphi \right] \Big\} =$$

$$= \frac{1}{2 \mu_0} B_0^2 \cdot \left\{ \left( \sum_{\nu'} \right)^2 + \left( \sum_{\nu''} \right)^2 + (K_c - 1) \left( \sum_{\nu'} \right) \left( \sum_{\nu''} \right) \right\} \quad (61)$$

Primul termen din paranteza mare din ultima expresie a relației de mai sus notat cu  $\left( \sum_{\nu'} \right)^2$ , reprezintă de fapt produsul armonicelor câmpului de excitație, iar componentele sale sînt fie constante, deci independente de timp, fie numărul de ordine al undelor de forță este prea mare și anume de cîteva ori numărul polilor ( $r = k \cdot 2p$ ). Din această cauză ponderea lor în producerea zgomotului este mică, motiv pentru care nu se iau în considerare.

Cel de al doilea termen notat cu  $\left( \sum_{\nu''} \right)^2$  este mai mic decît primul, avînd ca factor  $\left( \frac{K_c - 1}{2} \right)^2$ , care îi reduce foarte mult valoarea, motiv pentru care de asemenea nu se ia în considerare.

Cel de al treilea termen notat cu  $(K_c - 1) \left( \sum_{\nu'} \right) \left( \sum_{\nu''} \right)$  are valoarea cea mai mare din cei trei termeni, deci are ponderea predominantă în formarea zgomotului și ca urmare se va lua în considerare. In acest caz forța magnetică radială specifică devine:

$$r(x, t) = \frac{1}{2 \mu_0} B_0^2 \left\{ \frac{K_c - 1}{2} \sum_{\nu'} \sum_{\nu''} \left( \frac{1}{\nu'} \right) \left( \frac{1}{\nu''} \right) \cdot \sin \left( \nu' p \frac{b_i}{2R} \right) \cdot \sin \left( \nu'' p \frac{b_i}{2R} \right) \cdot \cos \left[ (\nu' p \pm [\nu'' p \pm N_1]) x - (\nu' \pm \nu'') \cdot 2 \cdot \pi \cdot f_n \cdot t - (\nu' \pm \nu'') p \cdot \varphi \right] \right\} \quad (62)$$

Elementele forței magnetice sînt:

- numărul de ordine:

$$r = 2p \left( k - \frac{N_1}{2p} \right) \quad (63)$$

- frecvența:

$$f_r = k \cdot 2 \cdot f_n \quad (64)$$

- unghiul de fază:

$$\varphi_r = 2p \cdot k \cdot \varphi \quad (65)$$

Din relația (63) rezultă că numărul de ordine are valoarea minimă  $r = 0$  când constanta are valoarea egală cu numărul de creștături pe pol, adică:

$$k = \frac{N_1}{2p} = q \cdot m = \text{nr. întreg} \quad (66)$$

Pe de altă parte constanta  $k$  se mai poate determina și cu ajutorul constantelor  $k'$  și  $k''$  corespunzătoare armonicelelor de câmp  $\gamma'$  și  $\gamma''$ , astfel:

$$k = \begin{cases} k' + k'' + 1 & [\text{sumă}] \\ k' - k'' & [\text{diferență}] \end{cases} \quad (67)$$

Undele de forțe radiale specifice rezultate din relația (62) au expresia generală de forma:

$$\chi(x, t) = \sum_r \mathcal{R}_{r\text{sp}} \cdot \cos(\pi x - 2\pi f_r t - \varphi_r) \quad (68)$$

unde amplitudinea forței radiale specifice are expresia:

$$\begin{aligned} \mathcal{R}_{r\text{sp}} &= \frac{1}{2\mu_0} B_\delta^2 \frac{k_c - 1}{2} \sum_{\gamma'} \sum_{\gamma''} \left[ \left( \frac{1}{\gamma'} \right) \cdot \sin\left(\gamma' p \cdot \frac{b_i}{2R}\right) \right] \cdot \left[ \left( \frac{1}{\gamma''} \right) \sin\left(\gamma'' p \cdot \frac{b_i}{2R}\right) \right] = \\ &= \frac{1}{2\mu_0} B_\delta^2 \frac{k_c - 1}{2} \sum_{\gamma'} \sum_{\gamma''} a_{\gamma'} \cdot a_{\gamma''} = \\ &= \frac{1}{2\mu_0} B_\delta^2 \frac{k_c - 1}{2} \left[ (a_0 \cdot a_{n-1} + a_1 \cdot a_{n-2} + \dots + a_{n-1} \cdot a_0) + \right. \\ &\quad \left. + 2(a_0 \cdot a_n + a_1 \cdot a_{n-1} + a_2 \cdot a_{n-2} + \dots) \right] = \\ &= \frac{B_\delta^2}{2\mu_0} \frac{k_c - 1}{2} [S + D] \quad (69) \end{aligned}$$



unde:

$$a_{\gamma'} = \frac{1}{\gamma'} \sin \gamma' p \frac{b_i}{2R} \quad , \text{este factorul de amplitudine pentru } \gamma' = 2k' + 1$$

$$a_{\gamma''} = \frac{1}{\gamma''} \sin \gamma'' p \frac{b_i}{2R} \quad , \text{este factorul de amplitudine pentru } \gamma'' = 2k'' + 1$$

$$S = (a_0 \cdot a_{n-1} + a_1 \cdot a_{n-2} + \dots + a_{n-1} \cdot a_0)$$

$$D = 2(a_0 \cdot a_n + a_1 \cdot a_{n-1} + a_2 \cdot a_{n+2} + \dots + a_n \cdot a_0)$$

$k'; k'' = 0, 1, 2, \dots$ , corespund pentru valorile  $a_0, a_1, \dots, a_n$

Calculul membrului diferență [D] se va continua pînă cînd expresiile din paranteză încep să nu-și mai schimbe valoarea. Se determină valoarea minimă a lui  $r$  pentru care rezultă valorile corespunzătoare ale constantelor  $k, k', k''$ . Se efectuează toate combinațiile cu  $k', k'', \gamma', \gamma''$  pînă cînd se obțin valori egale pentru  $r, f_r, \varphi_r$  determinate anterior cu ajutorul relațiilor (63) (64) (65).

Pentru  $r = \text{minim}$ , determinat, se poate calcula și trasa curba  $R_{rsp} = f(\alpha_i)$  corespunzătoare cîmpului polar, avînd distribuția admisă. Această curbă a cărei formă este prezentată în fig.11, permite determinarea valorii optime pentru  $\alpha_i$ , deci a lățimii tălpii polare, pentru care  $R_{rsp} = 0$ , respectiv pentru care forțele magnetice radiale specifice producătoare de zgomot în stator sînt anulate. Deformarea jugului rotorului este determinată de forța radială specifică care apare în stator, corespunzătoare tălpii polare, valoare ce se poate obține integrînd  $\mathcal{Z}(x, t)$  pe lungimea arcului polar:

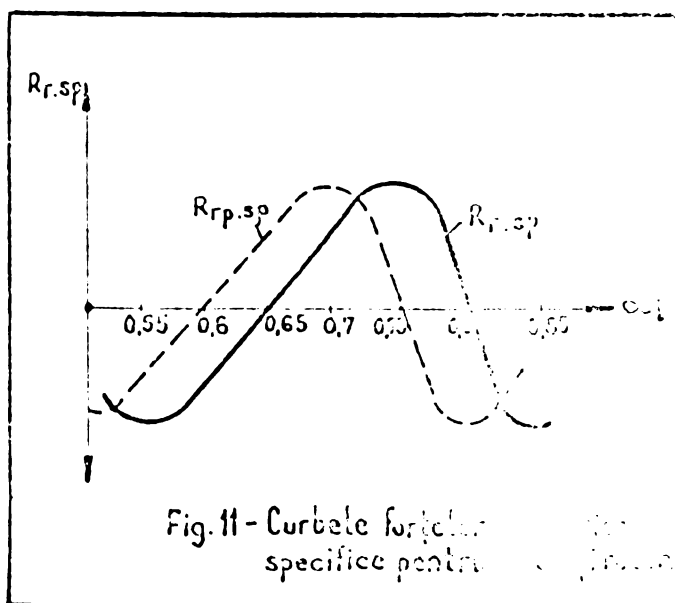


Fig.11 - Curbele forțelor specifice pentru

$$\mathcal{Z}_p = \int_{-\frac{b_i}{2R}}^{+\frac{b_i}{2R}} \mathcal{Z}(x, t) \cdot R \cdot L \cdot dx \quad (70)$$

unde:

$L$  = lungimea totală a fierului activ

Amplitudinea forței magnetice radiale totale, care soliciță polul este:

$$R_{rp} = 6,4 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot B_0^2 (K_c - 1) \frac{\sin(N_1 \alpha_i \frac{\pi}{2p})}{N_1 \alpha_i \cdot \frac{\pi}{2p}} L \cdot \alpha_i \cdot \tau \quad (71)$$

iar forța radială specifică a polului devine:

$$\begin{aligned} R_{rp\,sp} &= \frac{R_{rp}}{S_p} = \frac{R_{rp}}{b_i \cdot L} = \frac{R_{rp}}{\alpha_i \cdot \tau \cdot L} = 6,4 \cdot 9,81 \cdot 10^4 \cdot B_0^2 (K_c - 1) \frac{\sin(N_1 \alpha_i \frac{\pi}{2p})}{N_1 \alpha_i \cdot \frac{\pi}{2p}} = \\ &= 0,12557 \cdot 10^7 \cdot B_0^2 \cdot (K_c - 1) \frac{\sin(N_1 \alpha_i \frac{\pi}{2p})}{N_1 \cdot \alpha_i \cdot \tau} \end{aligned} \quad (72)$$

Cu ajutorul relației (72) se poate trasa curba  $R_{rp\,sp} = f(\alpha_i)$  ca în fig.11, care permite determinarea valorii  $\alpha_i$ , deci a lățimii optime a tălpii polare, pentru care forțele magnetice radiale care soliciță jugul rotorului  $R_{rp\,sp} = 0$ , respectiv forțele producătoare de zgomot sînt anulate. Din relația (72) rezultă că  $R_{rp\,sp} = 0$  dacă:

$$\sin(N_1 \alpha_i \frac{\pi}{2p}) = 0$$

care se mai poate scrie:

$$\sin\left(\frac{N_1}{2p} \frac{b_i}{\tau} \pi\right) = \sin\left(\frac{b_i}{\frac{2p\tau}{N_1}} \pi\right) = \sin\left(\frac{b_i}{\tau_1} \pi\right) \quad (73)$$

și care se anulează dacă:

$$\frac{b_i}{\tau_1} = nr. \text{ întreg} \quad (74)$$

Ca urmare, forța magnetică radială a polului se anulează dacă arcul polar ideal  $b_i$  este un multiplu al pasu-

lui crestăturilor statorului  $\sigma_1$ .

Cu ajutorul relațiilor stabilite mai sus se poate întocmi tabloul undelor de forțe magnetice radiale ale armonicilor de câmp din întrefier.

Tabloul undelor de forțe magnetice se poate întocmi și în funcție de raportul dintre pasul polar fundamental și cel al armonicilor superioare. Pentru aceasta se consideră TMM datorită polilor rotorului, care raportată la statorul neted, are expresia:

$$F = \sum_{\gamma} F_{\gamma} \cdot \cos [\gamma p (\theta - \omega t)] \quad (75)$$

iar permeanța magnetică a statorului crestat are expresia:

$$\Lambda = \sum_{\mu} L_{\mu} \cdot \cos \mu \cdot N_1 \cdot \theta \quad (76)$$

unde:

$\theta$  - unghiul la centrul generatorului al poziției spațiale a punctului aflat pe suprafața interioară a statorului, față de axa polului.

$\gamma = 1, 3, 5 \dots$ , este numărul de ordine al armonicilor TMM.

$\mu = 0, 1, 2, \dots$ , este numărul de ordine al armonicilor de permeanță,

iar curbele de variație sunt prezentate în fig. 12.

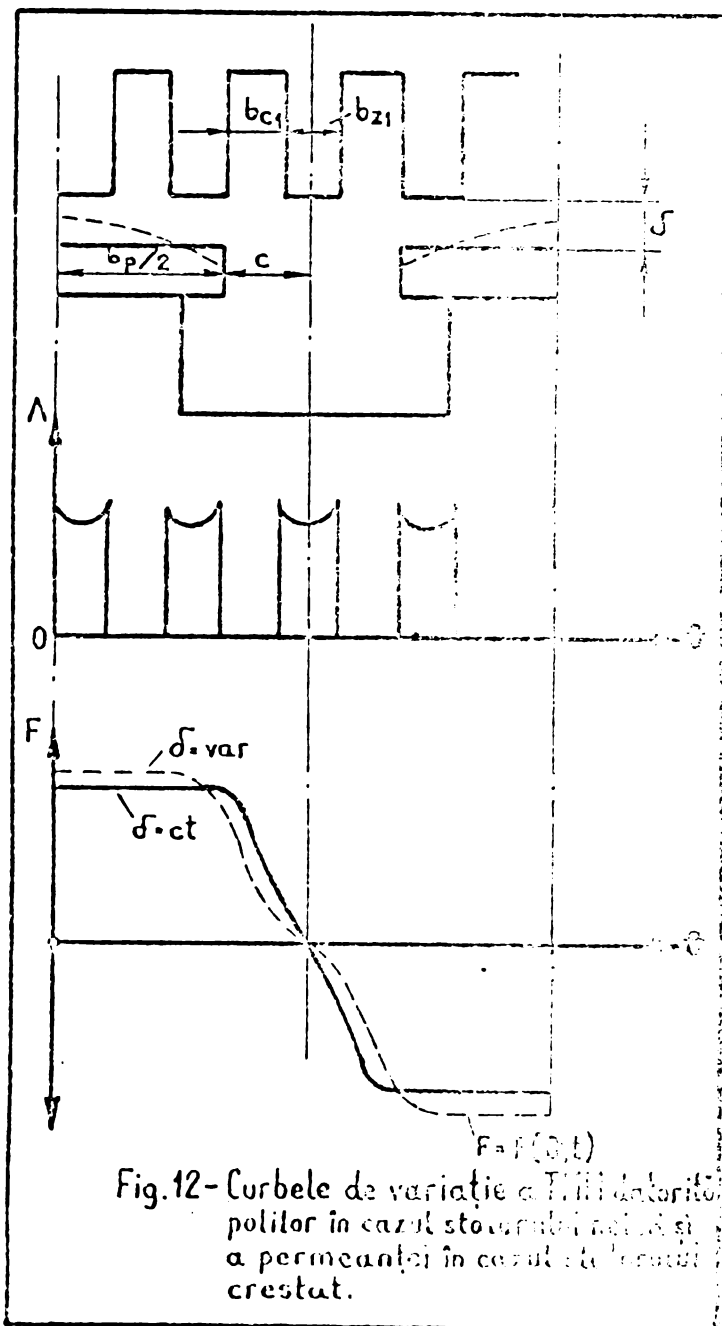
Inducția magnetică în cazul statorului crestat este produsul expresiilor (75) și (76), adică:

$$b = F \cdot \Lambda = \sum_{\gamma} \sum_{\mu} F_{\gamma} \cdot \cos [\gamma p (\theta - \omega t)] \cdot L_{\mu} \cdot \cos \mu \cdot N_1 \cdot \theta \quad (77)$$

Admițând că permeanța în orice punct în cazul TMM neuniforme rămâne aceeași și în cazul când TMM este uniformă, atunci ec. (77) se poate scrie sub o formă mai simplă, adică:

$$b = \sum_{\gamma} \sum_{\mu} F_{\gamma \mu} \cdot \cos [(\gamma p \pm \mu \cdot N_1) \cdot \theta - \gamma \cdot p \cdot \omega t] \quad (78)$$

Forța magnetică radială, care acționează asupra interiorului statorului este proporțională cu  $b^2$ , deci:



$$r = b^2 = \left\{ \sum \sum F_{\nu \mu} \cdot \cos [(\nu p \pm \mu N_1) \theta - \nu p \omega t] \right\}^2 \quad (79)$$

Pătratul sumei termenilor din relația (79) este compus din suma pătratelor termenilor de forma:

$$\cos^2 [(\nu p - \mu N_1) \theta - \nu p \omega t]$$

și a produselor termenilor de forma:

$$\begin{aligned} & \cos [(\nu_1 p \pm \mu_1 N_1) \theta - \nu_1 p \omega t] \cdot \\ & \cdot \cos [(\nu_2 p \pm \mu_2 N_1) \theta - \nu_2 p \omega t] \end{aligned}$$

Examiniind produsul cosinusului ca o sumă de cosinusuri, iar pătratul cosinusului în funcție de cosinusul unghiului dublu, apar linii trigonometrice de forma:

$$\begin{aligned} & \cos \left\{ [(\nu_1 + \nu_2) p + (\mu_1 + \mu_2) N_1] \theta - \right. \\ & \left. - (\nu_1 - \nu_2) \cdot p \omega t \right\} \end{aligned}$$

Deoarece  $\nu_1, \nu_2, \mu_1$  și  $\mu_2$  sînt numere întregi și impare, sumele  $\nu_1 + \nu_2$  și  $\mu_1 + \mu_2$  sînt numere pare și deci pot fi exprimate prin:

$$\begin{aligned} \nu_1 + \nu_2 &= 2\nu' & \mu_1 + \mu_2 &= 2\mu' \end{aligned} \quad (80)$$

unde  $\nu'$  și  $\mu'$  sînt numere întregi pare sau impare, Ca urmare ecuația se mai poate scrie:

$$r = \frac{1}{2 M_0} \sum \sum F_{\nu' \mu'} \cdot \cos [(2\nu' p \pm \mu' N_1) \theta - 2\nu' p \omega t] \quad (81)$$

În această ecuație expresia  $(2\gamma'p \pm \mu'N_1)$  este coeficientul de spațiu sau perioadă spațială și definește pasul polar al undei de forță, iar expresia  $2\gamma'p\omega$  este coeficientul de timp și definește frecvența zgomotului electromagnetic.

Din relația (81) rezultă că unda de forță care corespunde pentru  $(2\gamma'p + \mu'N_1)$  deformează statorul cu un număr mai mare de bucle decât cea care corespunde pentru  $(2\gamma'p - \mu'N_1)$ .

Deoarece deformația statorului va fi mai mare în cel de al doilea caz, se va lua în considerare numai  $(2\gamma'p - \mu'N_1)$ .

Cea mai periculoasă armonică de câmp este cea pentru care perioada spațială  $(2\gamma'p - \mu'N_1)$  are valoarea minimă, ceea ce corespunde pentru cel mai mare divizor comun între  $2p$  și  $N_1$ . Cu ajutorul acestei valori introduse în expresia perioadei spațiale se poate determina numărul de ordine al armonicei  $\gamma'$  pentru diferite valori atribuite lui  $\mu'$ , pentru care numărul de ordine al undelor de forță se poate determina cu ajutorul relației (81), iar frecvența cu ajutorul expresiei:

$$\frac{f}{f_r} = 2 \cdot \gamma' \cdot f_n \quad (82)$$

care pentru armonica fundamentală ( $\gamma' = 1$ ) și  $f_n = 50$  Hz este  $f_r = 100$  Hz.

Pe baza datelor de mai sus se poate întocmi tabloul undelor de forțe magnetice radiale produse de armonicile de câmp din întrefier, exprimate prin raportul dintre pasul polar al undelor de forță și pasul polar fundamental:

$$\frac{C_{\gamma'}}{C} = \frac{2p}{\gamma' \cdot 2p - \mu' \cdot N_1} \quad (83)$$

pentru diferite valori atribuite lui  $\gamma'$  și  $\mu'$  pentru care se determină  $f_r$  cu ajutorul relației (82).

Viteza periferică a undei de forță pe diametrul exterior al fierului activ se poate calcula [49] și este:

$$v_{\gamma'_{st}} = \frac{0,52 \cdot \gamma' \cdot f \cdot D_{e1}}{\gamma' \cdot 2p - \mu' \cdot N_1} \quad (84)$$

Dacă viteza periferică  $v_{y'st} < c$  atunci are loc o reducere a intensității zgomotului radiat, iar dacă  $v_{y'st} \geq c$  zgomotul este dependent de viteza periferică. Viteza periferică a armoniciei de forță raportată la viteza rotorului este dată de raportul dintre perioada de timp și cea de spațiu, adică:

$$v_{y'rot} = v_{y'st} \frac{v' \cdot 2p}{v' \cdot 2p - \mu' N_1} \quad (85)$$

Relațiile stabilite în prezentul capitol sînt valabile în cazul hidrogenatoarelor nesaturate magnetic și simetrice din punct de vedere mecanic și magnetic.

În concluzie se poate preciza că factorii care determină nivelul de vibrații și de zgomot la hidrogenatoare, sînt:

1. Armonicile de permeanță ale statorului, cauzate de creșterea statorului.
2. Armonicile rotorului cauzate de forma și configurația polilor.
3. Numărul de ordine sau pasul polar al undelor de forțe magnetice radiale, determinate de armonicile de cîmp ale statorului și rotorului și frecvența lor.
4. Proprietățile vibroacustice ale hidrogenatorului și ale spațiului de funcționare.
5. Frecvența proprie de oscilație a statorului și fenomenul de rezonanță.

Din cele de mai sus rezultă că forțele magnetice radiale sînt cauza vibrațiilor și deformațiilor mecanice ale statorului și rotorului, care determină zgomotul electromagnetic al hidrogenatoarelor.

### 2.1.3 - Cîmpurile și forțele magnetice în cazul înfășurărilor fracționare

În cazul înfășurărilor fracționare forma curbei de tensiune este mai bună, în schimb vibrațiile și zgomotul produs de armonicile fracționare de câmp sînt mai mari. De asemenea au valori majorate dispersia și pierderile. Aceste consecințe se explică prin faptul că numărul de bobine ale unei faze nu este egal repartizat sub fiecare pol și ca urmare armonicile fracționare de câmp determină inducții diferite sub poli de direcții diferite, care însumate cu câmpul fundamental din întrefier produc forțe magnetice radiale de valori diferite sub poli. Unda de câmp rezultantă se repetă sub poli, pe periferia statorului, după o perioadă spațială de ordinul armonice. Cu cît este mai mare perioada spațială cu atît sînt mai mari deformațiile fierului activ al statorului. Din această cauză armonicile fracționare apar în special la hidrogenatoarele multipolare cu un grad înalt de fracționare.

Înfășurarea fracționară are:

$$q = \frac{N_1}{2p m} = b + \frac{c}{d} = \frac{bd + c}{d} \quad (86)$$

unde numitorul  $d$  împarte înfășurarea în  $d$  grupe egale și reprezintă numărul de ordine al înfășurării. Ca urmare pentru  $d = 1$  înfășurarea este întreagă, pentru  $d = 2$  înfășurarea este fracționară de ordinul 2 (jumătate), pentru  $d = 3$  înfășurarea este de ordinul 3, etc.

Pentru a realiza simetria fazelor în cazul înfășurărilor fracționare, zonele sub diferiți poli se execută cu  $q$  neegal. Nu pot fi decât numai două zone neegale una față de alta, realizate cu  $q'$  și  $q''$ , care în funcție de numărul de ordine al înfășurării pot fi dispuse de mai multe ori și în diferite succesiuni. Cele două numere  $q'$  și  $q''$  trebuie să se deosebească cît mai puțin între ele, deci cu o unitate. Înfășurările vor avea întotdeauna  $2m$  zone pe perechea de poli. Se dispune pe periferie, în ordinea succesiunii polilor,  $d$  grupe

de bobine avînd un număr total de bobine egal cu  $(bd + c)$ , din care  $c$  grupe cu  $q' = b + 1$  bobine și  $(d - c)$  grupe cu  $q'' = b$  bobine.

Numărul de ordine al armonicelor fracționare din curba cîmpului pentru înfășurarea statorului, se poate exprima sub forma:

$$\nu = \frac{d \pm 2k}{d} = \frac{i}{d} \quad (87)$$

unde  $k = 0, 1, 2, \dots$

Valorile lui  $i$  divizibile cu 3 nu se mai iau în considerare, deoarece cîmpul produs de aceste armonici se suprapune peste cel fundamental. Pentru simplificare se consideră cazul distribuției dreptunghiulare a curbei cîmpului unei bobine. Tensiunea magnetică rezultantă a înfășurării unei faze, la mersul în gol, pe o zonă corespunzătoare pentru  $d$  poli, se poate determina [21] cu relația:

$$F_{\delta_0} = \sum_i F_i \cdot \cos \nu x \pi \quad (88)$$

Pentru fiecare  $i = d \pm 2k$  se obține:

$$F_i = \frac{2}{i \pi} F_{\delta_0} \cdot \sin \nu \frac{y}{2} \pi = \frac{2}{i \pi} F_{\delta_0} \cdot \sin \nu y \frac{\pi}{2} \quad (89)$$

unde  $y$  este pasul bobinei.

Amplitudinea solenației pentru toate bobinele unei faze se poate calcula cu ajutorul coeficientului de înfășurare pentru armonica de ordinul  $\nu$ . Această operație se poate simplifica în practică folosind tabloul de repartizare a creștăturilor pe faze pentru mașina elementară care are numărul de creștături:

$$N_0 = 2[3(bd + c)] = 6(bd + c) \quad (90)$$

egal cu numărul de căsuțe din tablou, precum și diagrama vectorială a tensiunilor cu elementele:



• unghiul dintre două creștături consecutive:

$$\alpha_p = \frac{\pi \cdot i}{3(bd + c)} = \frac{i}{bd + c} 60^\circ \quad (91)$$

- pasul rezultat al bobinei, care este egal cu numărul de căsuțe din tablou dispuse pe orizontală

$$y_r = \frac{6(bd + c) \pm k}{d} = \text{nr. întreg} \quad (92)$$

• unghiul dintre barele bobinei pentru pasul rezultat, respectiv cel corespunzător între două căsuțe succesive pe verticala coloanei unei faze:

$$\beta_p = \alpha_p \cdot y_r \quad (93)$$

Căsuțele tabloului se numerotează în ordine succesivă de la 1 la  $N_c$ , după care se face repartizarea creștăturilor pe faze în ordinea de succesiune a bobinelor. Se adoptă pentru fiecare fază o creștătură de referință pentru care vectorul TMM se consideră orientat după axa x, iar perpendicular pe aceasta este axa y.

Pentru calculul coeficientului de însumare al unghiurilor  $\alpha$  și  $\beta$  se convine semnul plus în cazul creșterii numărului de ordine al creștăturilor, iar semnul minus în cazul scăderii, față de creștătura de referință. Pentru fiecare fază se calculează proiecțiile vectorilor TMM după axa x și y pentru fiecare ordin al armonice fracționare, luându-se în considerare fiecare grup de creștături aflat în aceeași coloană a tabloului de repartizare. Expresia generală a proiecției pe axa x a primei coloane conținând n creștături, din care prima este de referință, este:

$$\begin{aligned} \sum F_{i,x} &= F_i + F_i \cdot \cos \beta + F_i \cdot \cos 2\beta + \dots + F_i \cdot \cos (n-1)\beta = \\ &= F_i \left( 1 + \frac{\cos \frac{n}{2} \beta \cdot \sin \frac{n-1}{2} \beta}{\sin \frac{\beta}{2}} \right) \end{aligned} \quad (94)$$

Pentru coloana j expresia devine :

$$\begin{aligned} \sum F_{ijx} &= F_i \cdot \cos \delta + F_i \cdot \cos (\delta + \beta) + F_i \cdot \cos (\delta + 2\beta) + \dots \\ &+ F_i \cdot \cos [\delta + (n-1)\beta] = F_i \frac{\cos (\delta + \frac{n-1}{2} \beta) \cdot \sin \frac{n}{2} \beta}{\sin \frac{\beta}{2}} \end{aligned} \quad (95)$$

unde unghiul  $\delta$  este unghiul dintre vectorul respectiv și cel al creștăturii de referință, exprimat în funcție de  $\alpha$  și  $\beta$ , calculat pentru fiecare caz în parte.

Proiecțiile pe axa y se obțin în mod similar :

$$\begin{aligned} \sum F_{iyy} &= F_i + F_i \cdot \sin \beta + F_i \cdot \sin 2\beta + \dots + F_i \cdot \sin (n-1)\beta = \\ &= F_i \frac{\sin \frac{n}{2} \beta \cdot \sin \frac{n-1}{2} \beta}{\sin \frac{\beta}{2}} \end{aligned} \quad (96)$$

$$\begin{aligned} \sum F_{ijy} &= F_i \cdot \sin \delta + F_i \cdot \sin (\delta + \beta) + \dots + F_i \cdot \sin [\delta + (n-1)\beta] = \\ &= F_i \frac{\sin (\delta + \frac{n-1}{2} \beta) \cdot \sin \frac{n}{2} \beta}{\sin \frac{\beta}{2}} \end{aligned} \quad (97)$$

Stiind că  $\delta = f(\alpha, \beta)$  și  $\beta = \gamma \alpha$ , relațiile (94), (95), (96) și (97) se pot exprima numai în funcție de  $\alpha$  astfel:

$$\sum F_{ijx} = F_i \cdot f(\cos \delta, \cos \alpha) = F_i \cdot \varphi(\cos \alpha) \quad (98)$$

$$\sum F_{ijy} = F_i \cdot f(\sin \delta, \sin \alpha) = F_i \cdot \varphi(\sin \alpha) \quad (99)$$

Rezultanta corespunzătoare tuturor armonicilor pentru o fază, este :

$$F_{irez} = \sqrt{\sum F_{ijx}^2 + \sum F_{ijy}^2} = K_{rez} \cdot F_i \quad (100)$$

Cu aceste valori se poate calcula factorul de zonă real al înfășurării fracționare, care ține seama distribuția exactă a bobinelor după tabloul de repartizare, respectiv după schema de înfășurare și care are expresia :

$$\xi = \frac{F_{irez}}{(bd+c)F_i} = \frac{K_{rez} \cdot F_i}{(bd+c)F_i} = \frac{K_{rez}}{(bd+c)} \quad (101)$$

In cazul cînd bobinele nu sînt repartizate pe zona optimă cuprinsă de  $d$  poli, ci pe o zonă conținînd  $2d, 4d, \dots$  poli, atunci tabloul de repartizare a crestăturilor se alcătuiește pentru numărul respectiv de poli, iar factorul de zonă se raportează la această zonă, adică:

$$\mathcal{F}_{zv} = \frac{F_{i rez}}{(2, 4, \dots)(bd+c) \cdot F_1} \quad (102)$$

Factorul de înfășurare este:

$$\mathcal{F}_v = \mathcal{F}_{zv} \cdot \mathcal{F}_{sv} = \frac{K_{rez}}{bd+c} \text{ sau } \gamma \frac{s}{c} \frac{\pi}{2} \quad (103)$$

unde  $\mathcal{F}_{sv}$  este factorul de scurtare.

Raportul dintre amplitudinea armonice de ordinul  $\gamma$  și a fundamentalei este:

$$K_{\gamma 0} = \frac{F_{i rez}}{F_1} = \frac{\mathcal{F}_v \cdot i_0}{\mathcal{F}_1 \cdot i} = \frac{\mathcal{F}_v}{\mathcal{F}_1 \frac{i}{i_0}} = \frac{\mathcal{F}_v}{\mathcal{F}_1 \frac{i}{d}} = \frac{\mathcal{F}_v}{\mathcal{F}_1 \cdot \gamma} \quad (104)$$

unde:

$F_1$  - amplitudinea armonice fundamentale a solenației

$i_0 = d$ , este numărul de ordine al armonice fundamentale, care se obține din relația (87) pentru  $k=0$ .

Acțiunea armonicele fracționare este cu atît mai mare cu cît este mai mare perioada spațială a undelor de forțe magnetice radiale.

Neglijînd amortizarea undelor rotitoare și saturația magnetică a circuitului, amplitudinea inducției magnetice de ordinul  $\gamma$  se poate exprima prin relația:

$$B_{\delta \gamma} = \frac{1}{\gamma} \frac{\mathcal{F}_v}{\mathcal{F}_1} x_{ad}, \quad B_{\delta 1} = K_{\gamma 0} \cdot x_{ad} \cdot B_{\delta 1} \quad (105)$$

unde  $x_{ad}$  este reactanța de reacție a indusului după axa longitudinală.

Forța magnetică radială dintre stator și rotor, pe porțiunea cuprinsă de  $d/2$  poli, este:

$$\mathcal{R} = L \cdot \int_0^{d/2} \left[ B_{\delta 1} \cdot \sin \frac{\pi}{\tau} x + B_{\delta 2} \cdot \sin \left( \frac{\pi}{\tau} \frac{i_1}{i_0} x + \varphi_2 \right) + \dots \right. \\ \left. \dots + B_{\delta n} \cdot \sin \left( \frac{\pi}{\tau} \frac{i_n}{i_0} x + \varphi_n \right) \right]^2 \cdot dx \quad (106)$$

Deoarece expresiile de forma:

$$B_{\delta n} \cdot B_{\delta n-1} \cdot \sin \left( \frac{\pi}{\tau} \frac{i_n}{i_0} x + \varphi_n \right) \cdot \sin \left( \frac{\pi}{\tau} \frac{i_{n-1}}{i_0} x + \varphi_{n-1} \right)$$

au valori foarte mici, se pot neglija și ca urmare forța magnetică radială maximă, determinată de armonicile fracționare, capătă expresia:

$$\mathcal{R} = \left| 2 \cdot L \cdot \sum B_{\delta 1} \cdot B_{\delta \nu} \frac{i_0 \cdot \tau}{\pi(i_0 - i_1)} + 2 \cdot L \cdot \sum B_{\delta 1} \cdot B_{\delta \nu} \frac{i_0 \cdot \tau}{\pi(i_0 + i_1)} \right| 9,81 \cdot 10^9 = \\ = \left| \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 10^9 \cdot i_0 \cdot \tau \cdot L \cdot B_{\delta 1}}{\pi} \sum \left( \frac{B_{\delta \nu}}{i_0 - i_1} + \frac{B_{\delta \nu}}{i_0 + i_1} \right) \right| = \\ \approx \left| \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 10^9 \cdot d \cdot \tau \cdot L \cdot B_{\delta 1}}{\pi} \sum \frac{\frac{1}{\nu} \frac{\xi_\nu}{\xi_1} x_{ad} \cdot B_{\delta 1}}{i_0 - i_1} \right| = \\ = \left| \frac{2 \cdot 9,81 \cdot 10^9 \cdot d \cdot \tau \cdot L \cdot x_{ad} \cdot B_{\delta 1}^2}{\pi} \sum \cdot k_{\nu 0} \frac{1}{i_0 - i_1} \right| \quad (107)$$

Din relația (107) rezultă că forța magnetică radială este direct proporțională cu gradul de fracționalitate, cu factorul de înfășurare al armonicelor, cu dimensiunile principale, cu reactanța de reacție a indusului după axa longitudinală și cu inducția din întrefier a armonice fundamentale. Intrucât factorul de înfășurare al armonicelor fracționare este o măsură a forței magnetice radiale care generează zgomotul și vibrațiile, limitarea acestora din urmă se poate reduce la impunerea unei condiții limitative pentru factorul de înfășurare, de forma:

$$k_{\nu 0} = \frac{1}{\nu} \frac{\xi_\nu}{\xi_1} 100 \leq 5 \% \quad (108)$$

caz în care nivelul de zgomot și vibrații se găsește în limite admisibile.

De asemenea din relația (107) se constată că forța magnetică este invers proporțională cu  $(i_0 - i_1)$  și are valoarea cea mai mare pentru  $(i_0 - i_1) = \text{minim}$ , care are loc în următoarele cazuri:

$$\begin{aligned} k = 0 & \dots\dots\dots i_0 = d \pm 2k = d \dots\dots\dots \gamma = 1 \\ k = 1 & \dots\dots\dots i_1 = d \pm 2 \cdot 1 = d \pm 2 \dots\dots\dots \gamma = \frac{d \pm 2}{d} \\ k = 2 & \dots\dots\dots i_2 = d \pm 2 \cdot 2 = d \pm 4 \dots\dots\dots \gamma = \frac{d \pm 4}{d} \end{aligned}$$

Ca urmare cele mai periculoase armonici fracționare sînt cele ale căror ordin este mai apropiat de fundamentală, adică:

$$\gamma = \frac{d \pm 2}{d} \qquad \gamma = \frac{d \pm 4}{d} \qquad (109)$$

Elementele undelor de forțe magnetice radiale sînt numărul de ordine și frecvența:

$$r = \frac{2p}{d} \left( k - \frac{N_1}{2p} \right) = \frac{2p}{d} [k \cdot d - 3(bd + c)] \qquad (110)$$

$$f_r = 2 \cdot \gamma \cdot f_n \qquad (111)$$

Viteza periferică a undei în raport cu statorul este:

$$v_{\gamma st} = v \frac{\tau_{\gamma}}{\tau} = v \frac{\tau}{\gamma \tau} = \frac{v}{\gamma} = v \frac{d}{d \pm k} \qquad (112)$$

iar în raport cu rotorul este:

$$v_{rot} = v \pm v_{\gamma st} = v \left( 1 \pm \frac{1}{\gamma} \right) \qquad (113)$$

Forțele de atracție magnetică, diferite de la pol la pol, determină vibrația rotorului, cu o frecvență egală cu cea a TEM induse în înfășurarea de amortizare:

$$f_{\gamma rot} = \frac{v_{rot}}{2 \cdot \tau_{\gamma}} = \frac{v}{2 \cdot \tau} \left( 1 \pm \frac{1}{\gamma} \right) \gamma = f \cdot (\gamma \pm 1) \qquad (114)$$

Colivia de amortizare amortizează undele rotitoare de forțe magnetice, cu atât mai mult cu cât pasul polar al undei  $\omega$ , va fi mai mare, iar rezistența ohmică și dispersia coliviei de amortizare vor fi mai mici.

În cazul înfășurărilor fracționare de tip ondulat se recomandă ca ponderea armonicilor fracționare să nu depășească  $k_{\gamma_0} = 2\div 3\%$  în cazul hidrogenatoarelor fără colivie de amortizare și  $k_{\gamma_0} = 5\div 6\%$  în cazul hidrogenatoarelor cu colivie de amortizare.

Vibrațiile și zgomotul determinat de armonicile fracționare se manifestă la regimul de sarcină al hidrogenatorului.

#### 2.1.4 - Vibrațiile statorului

Statorul unui hidrogenator este format din fierul activ și carcasa, asamblate între ele cu un anumit ajustaj. Acest ajustaj este condiționat de gradul de precizie al fabricației și a montajului, iar deoarece practic nu poate fi determinat, nu poate fi cunoscut cu exactitate. Domeniul ajustajului dintre fierul activ și carcasa este determinat de cele două limite posibile și anume:

- ajustaj cu joc, când fierul activ și carcasa se comportă ca două inele independente;
- ajustaj cu seraj, când fierul activ și carcasa se comportă ca un singur inel .

În cazul hidrogenatoarelor, legătura dintre fierul activ și carcasa se realizează printr-un număr foarte mare de pene longitudinale cu profil de coadă de rândunică, dispuse la distanțe relativ mici între ele, ceea ce permite asigurarea unui ajustaj intermediar satisfăcător.

Statorul și rotorul hidrogenatorului se deformează în exploatare sub influența forțelor electromagnetice rotitoare din întrefier, deci au o structură oscilantă cu o anumită frecvență proprie de oscilație, care este determinată de soluția constructivă adoptată. Vibrațiile acestor sub-

ansamble determină zgomotul electromagnetic, care poate fi amplificat în mod deosebit dacă frecvența undelor de forțe coincide sau este apropiată de frecvența oscilațiilor proprii ale statorului, când se zice că are loc fenomenul de rezonanță. Din această cauză este necesar să se determine frecvența oscilațiilor proprii ale statorului.

Forțele magnetice sînt aplicate pe dinții statorului, determinînd vibrarea acestora, de la care apoi se transmite la jug, iar de la jug la carcasă, de unde sub formă de zgomot se transmite în mediul ambient. La rotor forțele electromagnetice se aplică pe polii rotorului. Ponderea predominantă în formarea zgomotului revine statorului, motiv pentru care în cele ce urmează se va examina deformarea statică și respectiv apariția vibrațiilor. Forțele magnetice rotitoare care apar în întrefier se pot descompune, după cum s-a văzut, în 3 componente dintre care se ia în considerare numai componenta radială, celelalte două componente fiind anihilate prin măsurile constructive. Totuși, în cazul în care nu este realizat un ajustaj blocat între barele de bobinaj și creștătură, ci rezultă un ajustaj cu joc, dintele considerat ca o grindă încastrată în jugul statorului este determinat să vibreze cu o frecvență, care poate fi determinată [49] cu ajutorul relației:

$$f_z = \frac{c}{4 \cdot h_c} = \frac{5100}{4 \cdot h_c} = \frac{1275}{h_c} \quad (115)$$

care în cazul înălțimii dintelui cuprins în domeniul  $h_c = 20-150$  mm are valorile corespunzătoare  $f_z = 63750-8500$  Hz, de unde rezultă că în cazul creștăturilor avînd înălțimea mai mare de 75 mm pot apărea frecvențe în domeniul audibil și deci poate avea loc și fenomenul de rezonanță, care poate conduce la creșterea exagerată a nivelului de zgomot, iar cu timpul la ruperea dinților, ca urmare a fenomenului de oboseală a materialului.

Componenta radială a forțelor magnetice este cea mai importantă ca pondere în producerea vibrațiilor și a zgomotului cauzat de stator.

Pentru calculul deplasărilor statice ale fierului activ și carcasei, precum și al deplasărilor dinamice sau al vibrațiilor, este necesar să se facă următoarele ipoteze simplificatoare:

1. - Fierul activ se consideră un inel liber oscilant și subțire, redus la nivelul jugului său, care este un corp omogen și unitar. Dinții statorului se vor lua în considerare în acest inel ca o majorare a masei sale, printr-un factor de majorare corespunzător. Secțiunea elastică se consideră cea a jugului.
2. - Carcasa se consideră un inel liber oscilant.
3. - Se iau în considerare numai deplasările din planul tolelor, deci numai oscilațiile radiale.
4. - Se neglijează amortizarea materialului, deoarece valoarea mică a frecvenței proprii practice nu are nici o influență.
5. - Ajustajul real dintre fierul activ și carcasă va fi înlocuit prin domeniul de ajustaj determinat de cele două limite.

Aceste ipoteze corespund în special pentru hidrogenatoarele multipolare, deci cu diametre mari.

Soluția constructivă expusă mai sus, cu notarea dimensiunilor utilizate este prezentată în fig.13.

Pentru determinarea deformațiilor mecanice ale fierului activ al statorului și a carcasei, s-au luat în considerare publicațiile de specialitate [5], [6], [23], [38], [45], [51.]

Deformațiile mecanice și frecvența oscilațiilor proprii vor fi determinate în cele ce urmează pentru cele două cazuri limită de ajustaj, enunțate mai sus.

#### Cazul 1 - Ajustaj cu joc

Amplitudinea simplă a forței magnetice radiale to-



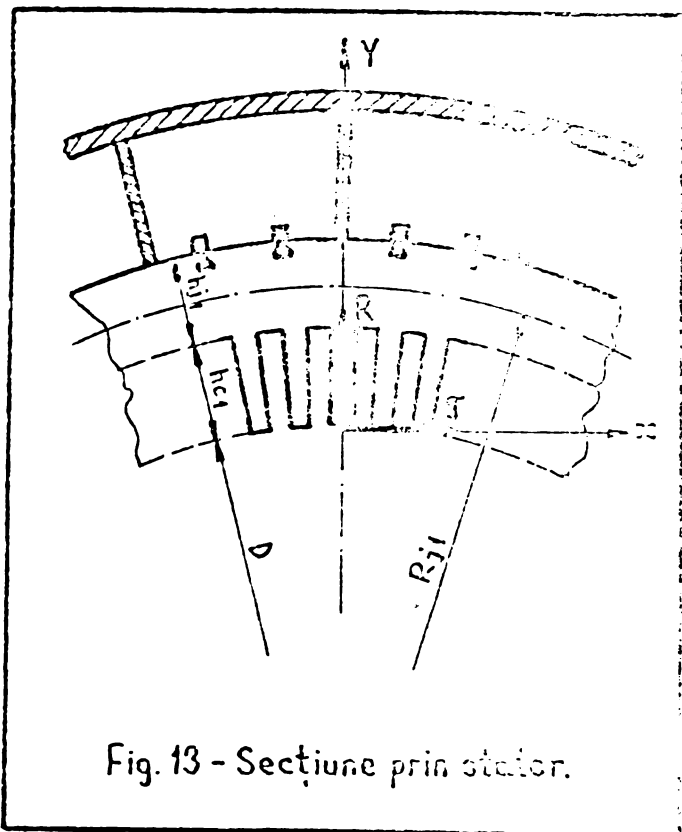


Fig. 13 - Sectione prin stator.

tale este:

$$\begin{aligned} \mathcal{R}_r &= \frac{1}{2} \mathcal{R}_{rsp} \cdot \alpha_i \cdot S_{Fe} = \\ &= 6,25 \cdot 10^5 \cdot B_{\delta}^2 \cdot \alpha_i \cdot D \cdot L \end{aligned} \quad (116)$$

Considerînd fierul activ ca un inel liber, deplasarea radială statică a acestuia [5] în cazul înfășurării cu  $q = \text{întreg}$ , respectiv  $q = \text{fracționar}$ , va fi:

$$Y'_{rFe} = \Psi_r \cdot \mathcal{R}_r \cdot \lambda_{j1} \cdot K_{\varepsilon} \quad (117)$$

$$Y'_{rFe} = \Psi_r \cdot \mathcal{R}_r \cdot \lambda_{j1} \cdot K_{\varepsilon} \cdot K_f \quad (118)$$

iar deplasarea radială dinamică, sau amplitudinea vibrației radiale va fi:

$$Y_{rFe} = Y'_{rFe} \cdot K_d \quad (119)$$

unde:

$$\Psi_r = \frac{1}{(r^2 - 1)^2}, \quad \text{curbele fiind prezentate în fig.14}$$

$h_{j1}, R_{j1}$  - înălțimea, respectiv raza medie a jugului fierului activ statoric

$K_{\varepsilon} = (1 + 3r^2 \cdot \varepsilon)$ , factor care ține seama de întinderea fibrei medii și deplasarea secțiunii jugului

$$\lambda_{j1} = \frac{R_{j1}^3}{2 \cdot \pi \cdot E_{Fe} \cdot J_{j1}} = \frac{12}{2 \cdot \pi \cdot E_{Fe} \cdot L_{Fe}} \left( \frac{R_{j1}}{h_{j1}} \right)^3$$

$$\varepsilon = \frac{1}{12} \left( \frac{h_{j1}}{R_{j1}} \right) \quad K_f = \alpha_{ad} \cdot k_{\nu 0} \quad k_{\nu 0} = \text{relația (104)}$$

$$K_d = \frac{1}{1 - \left( \frac{f_r}{f_{rFe}} \right)^2}, \quad \text{factorul dinamic sau de amplificare}$$

$x_{ad}$  - reactanța de reacție a indusului după axa longitudinală

$f_r$  - frecvența undelor de forțe magnetice radiale

$f_{rFe}$  - frecvența oscilațiilor proprii ale fierului activ

$E_{Fe}$  - modulul de elasticitate la încovoiere al fierului activ, care are următoarele valori:

$1961 \cdot 10^7 \text{ daN/m}^2$  - tole silicioase laminate la cald, sau la rece după direcția de laminare

$1275 \cdot 10^7 \text{ daN/m}^2$  - tole silicioase laminate la rece, după direcție perpendiculară pe cea de laminare

$(980-1470) \cdot 10^7 \text{ daN/m}^2$  - fier activ din tole ștanțate de grosime 0,5 mm.

Inlocuind aceste expresii în relația (119), amplitudinea vibrației radiale a fierului activ pentru cazul când  $q = \text{întreg}$ , devine:

$$Y_{rFe} = \Psi_r \frac{\pi}{2} \alpha_i \cdot D \cdot L \cdot (2 \cdot B_g)^2 \cdot 9,80665 \cdot 10^4 \cdot \frac{12}{L_{Fe}} \left( \frac{R_{j1}}{h_{j1}} \right)^3 \frac{K_E \cdot K_d}{2\pi \cdot E_{Fe}} =$$

$$= 0,1144 \cdot 10^7 \cdot \Psi_r \cdot B_g^2 \cdot \alpha_i \cdot D \cdot \frac{L}{L_{Fe}} \left( \frac{R_{j1}}{h_{j1}} \right)^3 \frac{K_E \cdot K_d}{E_{Fe}} \quad (120)$$

iar pentru cazul înfășurării fracționare este:

$$Y_{rFe} = 0,1144 \cdot 10^7 \cdot \Psi_r \cdot B_g^2 \cdot \alpha_i \cdot D \cdot \frac{L}{L_{Fe}} \left( \frac{R_{j1}}{h_{j1}} \right)^3 \frac{K_E \cdot K_d \cdot K_f}{E_{Fe}} \quad (121)$$

Examinînd relația (120) rezultă că nivelul de vibrații, respectiv de zgomot, este direct proporțional cu coeficientul de acoperire polară, diametrul interior al statorului, pătratul inducției din întrefier, cubul razei medii a jugului statoric, factorul dinamic și este invers proporțional cu pătratul numărului de ordine al unde de forță magnetică radială și cubul înălțimii jugului statoric. În cazul apariției fenomenului de rezonanță are loc o creștere

exagerată a vibrațiilor datorită factorului de amplificare  $K_d$ . Ca urmare amplitudinea vibrațiilor poate fi redusă prin evitarea fenomenului de rezonanță, prin eliminarea undelor de forțe magnetice de ordine inferioare ( $r = 0; 1; 2 \dots$ ), prin adoptarea unei inducții în întrefier cât mai mici și a înălțimii jugului cât mai mare. În cazul înfășurărilor fracționare, pe lângă măsurile amintite este necesar ca factorii de înfășurare ai armonicilor fracționare să aibă valori cât mai mici.

Frecvența oscilațiilor proprii ale fierului activ în funcție de numărul de ordine al undelor de forțe magnetice radiale, se poate determina cu relațiile:

$$r=0 \quad f_{0Fe} = \frac{1}{2 \cdot \pi \cdot R_{j1}} \sqrt{\frac{g \cdot E_{Fe}}{\gamma \cdot \eta}} = \frac{0,18 \cdot 10^{-2}}{R_{j1}} \sqrt{E_{Fe} \cdot \eta_{j1}} \quad (122)$$

$$r=1 \quad f_{1Fe} = f_{0Fe} \sqrt{2 \frac{1+4\varepsilon}{1+3\varepsilon}} \quad (123)$$

$$r \geq 2 \quad f_{rFe} = f_{0Fe} \cdot F_r \cdot \frac{h_{j1}}{R_{j1}^2} \cdot \frac{1}{\sqrt{12 \cdot K_E}} \quad (124)$$

unde:

$$g = 9,81 \text{ m/sec}^2$$

$$\gamma = 76,98 \cdot 10^3 \text{ N/m}^3$$

$$\eta_{j1} = \frac{1}{\eta} = \frac{G_{j1}}{G_{Fe1} + G_{Cu1}} \cong 0,475 \div 0,65$$

$G_{j1}, G_{Fe1}, G_{Cu1}$  masa totală a jugului, a fierului activ, respectiv a cuprului statoric

După Hoppe  $F_r = \frac{r(r^2 - 1)}{(r^2 + 1)^{3/2}}$  pentru care valorile calculate

sînt prezentate în tabela 6, iar curbele de variație  $F_r(r)$  și  $\Psi_r(r)$  sînt prezentate în fig.14.

Tabela 6

| 2    | 3    | 4     | 5     | 6     | 7    | 8     | 9     | 10   | > 10       |
|------|------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|------------|
| 2,68 | 7,59 | 14,55 | 23,54 | 34,53 | 47,4 | 62,52 | 79,51 | 98,5 | $\sim r^2$ |

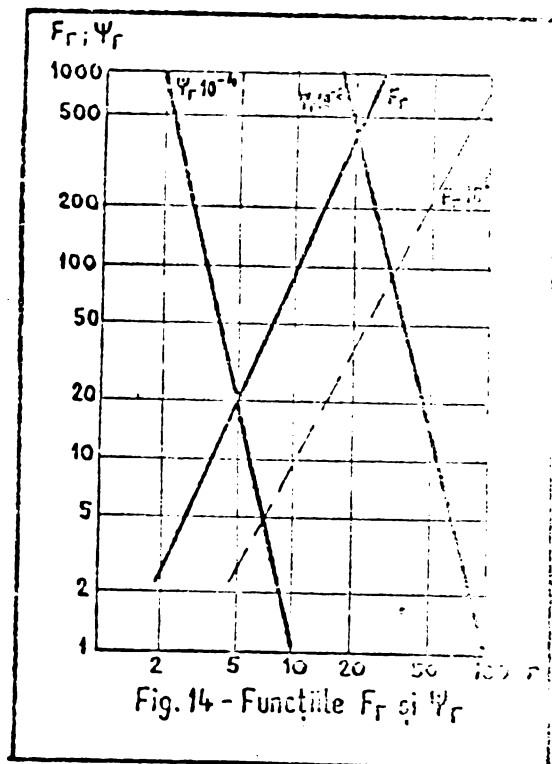


Fig. 14 - Funcțiile  $F_r$  și  $\Psi_r$

Din examinarea acestor relații rezultă că frecvența oscilațiilor proprii poate fi redusă adoptând un diametru interior al statorului cât mai mare, iar înălțimea jugului cât mai mică.

### Cazul 2 - Ajustaj rigid

Considerînd un ajustaj rigid între fierul activ și carcasă, amplitudinea vibrației statorului în ansamblu este:

$$Y_{rst} = Y_{rFe} \frac{k'_d}{k_d} \frac{c_{j1}}{c_{j1} + c_{car}} = Y_{rFe} \frac{k'_d}{k_d} \frac{c_{j1}}{c_{st}} = Y_{rFe} \frac{k'_d}{k_d} \frac{\lambda_{car}}{\lambda_{j1} + \lambda_{car}} \quad (125)$$

unde:

$$k'_d = \frac{1}{1 - \left(\frac{f_r}{f_{rst}}\right)^2}, \text{ factorul de amplificare al statorului.}$$

$$c_{st} = c_{j1} + c_{car} = \frac{1}{\lambda_{j1}} + \frac{1}{\lambda_{car}}, \text{ este rigiditatea totală a statorului}$$

Frecvența de oscilație proprie a carcasei, este:

$$f_{rcar} = \frac{1}{2 \cdot \pi} F_r \sqrt{\frac{2 \cdot \pi}{\lambda_{car} \cdot G_{car}}} \quad (126)$$

unde  $G_{car}$  este masa totală a carcasei.

Frecvența de oscilație proprie a statorului, în cazul ajustajului rigid, pentru undele de forțe magnetice radiale de ordinul  $r$ , este:

$$\begin{aligned} f_{rst} &= \sqrt{f_{rFe}^2 \frac{G_{Fe1}}{G_{Fe1} + G_{car}} + f_{rcar}^2 \frac{G_{car}}{G_{Fe1} + G_{car}}} = \\ &= \sqrt{f_{rFe}^2 \cdot \eta_{Fe} + f_{rcar}^2 \cdot \eta_{car}} \end{aligned} \quad (127)$$

unde:

$$\eta_{Fe} = \frac{G_{Fe1}}{G_{Fe1} + G_{car}} \quad \eta_{car} = \frac{G_{car}}{G_{Fe1} + G_{car}}$$

Ca urmare, amplitudinea vibrației statorului se va afla în domeniul determinat de cele două limite  $\gamma_{rst}$  și  $\gamma_{rFe}$ , dar mai aproape de prima valoare. Pentru evitarea fenomenului de rezonanță, se impune ca frecvențele oscilațiilor proprii determinate în cele două cazuri de ajustaj, examinate mai sus, să nu aibă valori apropiate de frecvențele undelor de forțe magnetice radiale care acționează în întrefier, sau de frecvența undei fundamentale care are întotdeauna valoarea de 100 Hz, la frecvența nominală de 50 Hz.

### 2.1.5 - Nivelul de zgomot electromagnetic

Intensitatea sonoră pe suprafața unui radiator plan pentru o undă acustică de ordinul  $r$ , se poate determina [23] cu ajutorul relației:

$$I_{pl,r} = 84 \cdot \pi^2 \cdot 10^{-3} \cdot f_r^2 \cdot \gamma_r^2 \cdot 10^4 = 0,83 \cdot f_r^2 \cdot \gamma_r^2 \cdot 10^4 \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (128)$$

unde  $f_r$  este frecvența undelor de forțe magnetice radiale, iar  $\gamma_r$  este amplitudinea simplă a oscilațiilor proprii a radiatorului acustic.

Cu ajutorul relației (4) și ținând seama de (128) se poate determina presiunea sonoră efectivă a unui radiator plan, care după [38] corespunde cu cea a hidrogenatoarelor lente, adică:

$$p_{ef,pl,r} = \sqrt{\rho \cdot c \cdot I_{pl,r}} = 18,2 \cdot f_r \cdot \gamma_r \cdot 10^2 \quad (129)$$

Având  $p_{ef}$  și  $f_r$ , din fig.15 și 16 se poate determina nivelul de tărie  $\Lambda$  în Foni, definit prin relația (15).

În general hidrogenatoarele se pot asimila mai corect cu un radiator sferic sau semisferic. Puterea de radiație relativă de ordinul  $r$ , pe suprafața unui radiator sferic raportată la cea a unui radiator plan, având amplitu-

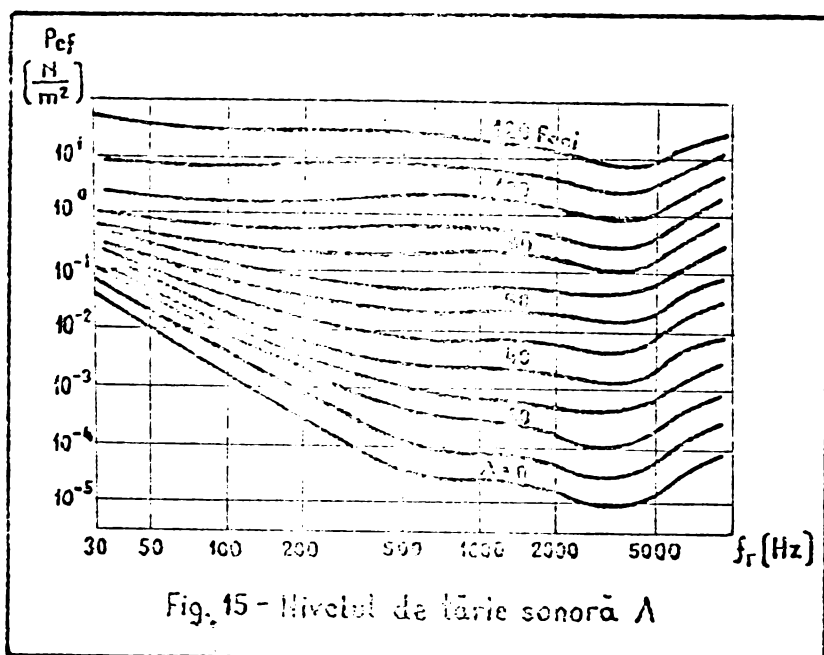


Fig. 15 - Nivelul de tărăie sonoră  $\Lambda$

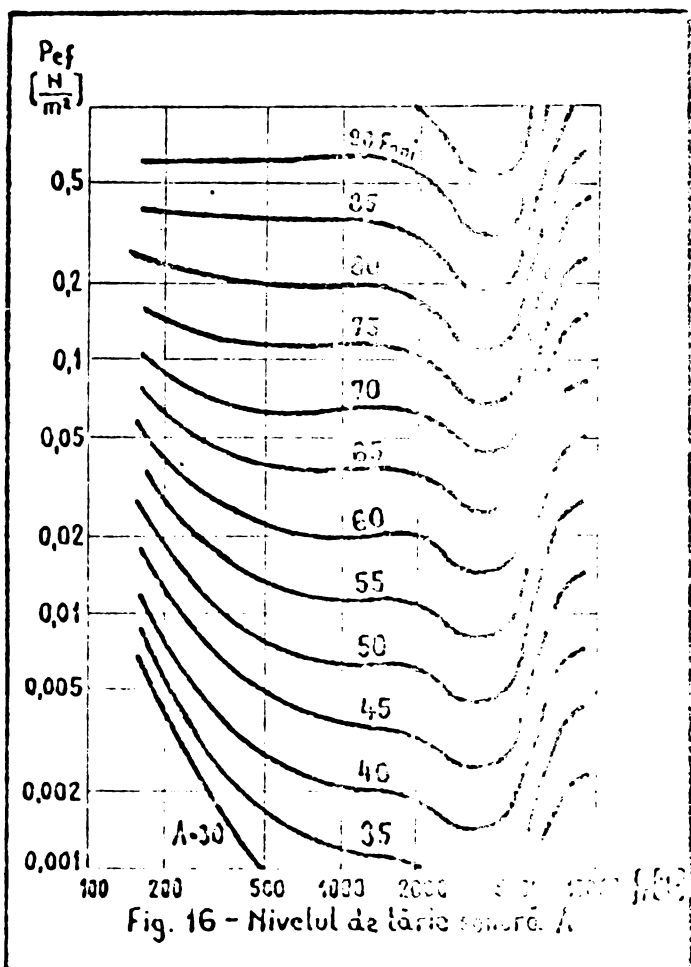


Fig. 16 - Nivelul de tărăie sonoră  $\Lambda$

dinea undelor sonore egale, se poate determina cu relația:

$$P_{rel,r} = \frac{I_{sf,r}}{I_{pl,r}} = f\left(\frac{\pi \cdot D_{ex}}{\lambda_r}, r\right) \quad (130)$$

iar valorile calculate sînt prezentate în fig. 17.

Lungimea de undă a radiației sonore de ordinul  $r$ , în aer la  $20^\circ\text{C}$  și  $760 \text{ mm CHg}$ , conform relației (1) este:

$$\lambda_r = \frac{c}{f_r} = \frac{343}{f_r} \quad (131)$$

iar valorile calculate în funcție de frecvență

sînt prezentate în fig.18.

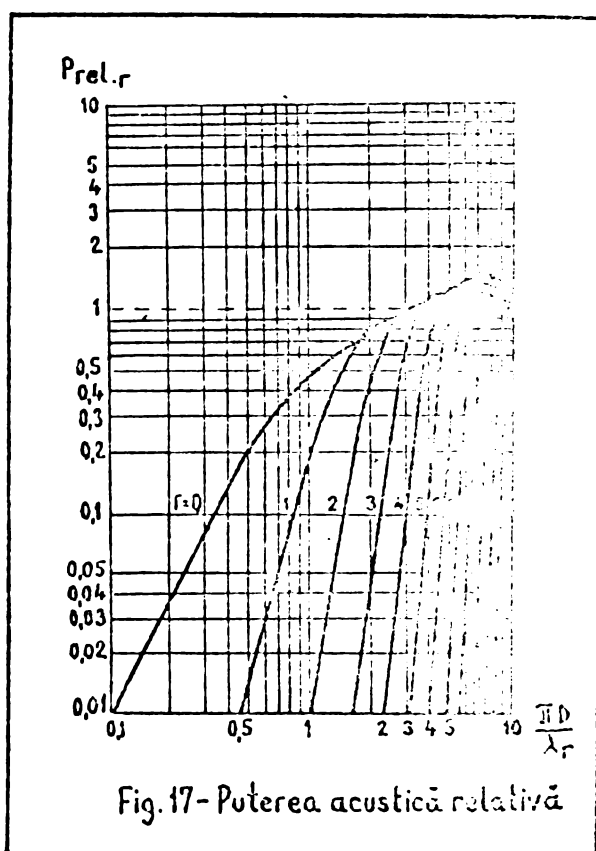


Fig. 17 - Puterea acustică relativă

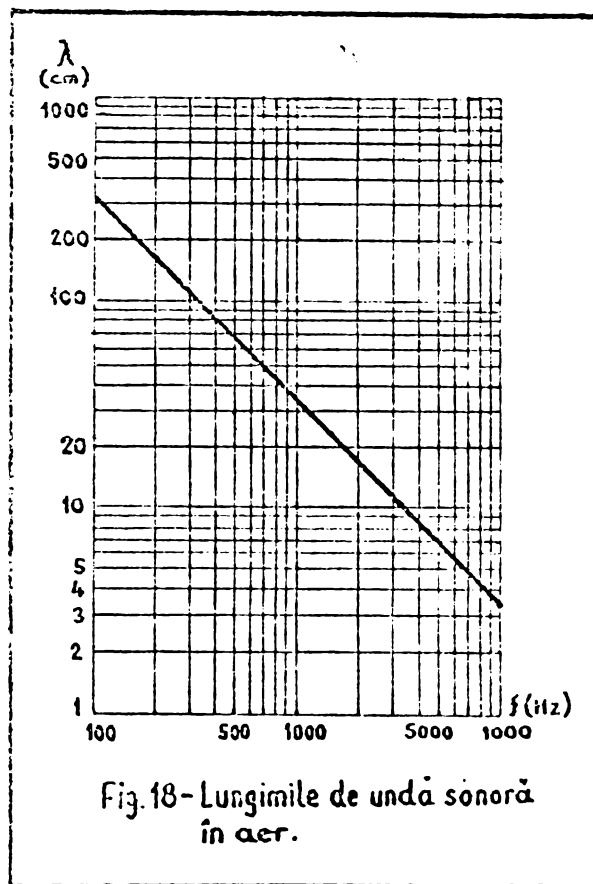


Fig. 18 - Lungimile de undă sonoră în aer.

Intensitatea sonoră pe suprafața laterală a unui radiator sferic, pentru o vibrație de ordinul  $r$ , se poate determina cu ajutorul relațiilor (128) și (130):

$$I_{sf,r} = I_{pl,r} \cdot P_{rel,r} = 0,83 \cdot f_r^2 \cdot Y_r^2 \cdot P_{rel,r} \cdot 10^4 \quad \left[ \frac{W}{m^2} \right] \quad (132)$$

Din relațiile (4) și (132) se poate determina presiunea sonoră efectivă a unui radiator sferic, care corespunde mai bine în cazul hidrogenatoarelor:

$$p_{ef,sf,r} = p_{ef,pl,r} \cdot \sqrt{P_{rel,r}} = 18,2 \cdot f_r \cdot \sqrt{P_{rel,r}} \cdot Y_r \cdot 10^2 \quad (133)$$

Pentru determinarea nivelului de tărie se poate folosi fig.15 și 16. Nivelul de intensitate sonoră pentru unda acustică de ordinul  $r$ , pe suprafața laterală exterioară a hidrogenatorului, prin asimilare cu un radiator sferic, se poate calcula cu ajutorul relației (11), ținînd seama de (130), adică:

$$L_{ir} = 10 \log \frac{I_{g,r}}{I_0} = 10 \log \frac{0,83 \cdot f_r^2 \cdot Y_r^2 \cdot P_{rel,r} \cdot 10^4}{10^{-12}} =$$

$$= 10 \log [2,3 \cdot 10^{15} \cdot f_r^2 \cdot Y_r^2 \cdot P_{rel,r}] \quad [dB] \quad (134)$$

Relațiile de mai sus (129), (133) și (134) pentru determinarea zgomotului nu țin seama de proprietățile acustice ale spațiului de funcționare.

Pentru aceasta se determină intensitatea zgomotului într-un spațiu dat, cu ajutorul puterii acustice absolute definite prin relația (5), care este egală cu produsul dintre intensitatea sonoră medie și suprafața laterală a hidrogenatorului, asimilată cu un radiator sferic de ordinul  $r$ :

$$P_r = \bar{I}_{rmed} \cdot S \quad (135)$$

Intensitatea sonoră medie a undei de ordinul  $r$  este:

$$\bar{I}_{rmed} = \frac{I_r}{2|r| + 1} \quad (136)$$

Intensitatea sonoră determinată de un hidrogenator într-un spațiu dat, depinde nu numai de puterea acustică absolută produsă de hidrogenator, ci și de proprietățile acustice ale spațiului de funcționare, exprimate prin gradul de absorbție al acestuia:

$$I_r = \frac{4 \cdot P_r}{A} \quad (137)$$

unde:

$A = 0,162 \frac{V}{T} [m^2]$ , este gradul de absorbție sonoră

$V$  - volumul spațiului

$T$  - constanta de timp de reverberație [S]

Ca urmare, nivelul de intensitate sonoră într-un spațiu închis, avînd anumite proprietăți acustice, în care hidrogenatorul este radiator de unde sonore, poate fi determinat cu ajutorul relațiilor (11) și (137):



$$L_{ir} = 10 \cdot \log \frac{I_r}{I_0} = 10 \log \left[ \frac{4 \cdot P_r}{A \cdot 10^{-12}} \right] \quad [\text{dB}] \quad (138)$$

Tinînd seama de relațiile (135) și (132) puterea acustică devine:

$$P_r = \frac{I_r}{2|r|+1} S = \frac{0,83 \cdot f_r^2 \cdot P_{rel.r} \cdot Y_r^2 \cdot 10^4}{2|r|+1} \pi \cdot D_{ex} \cdot L_{ex} =$$

$$= 2,61 \cdot 10^4 \cdot D_{ex} \cdot L_{ex} \frac{f_r^2 \cdot P_{rel.r} \cdot Y_r^2}{2|r|+1} \quad (139)$$

Tinînd seama de această expresie, relație (138) devine:

$$L_{ir} = 10 \cdot \log \left[ \frac{4 \cdot \pi \cdot 2,61 \cdot 10^4 \cdot D_{ex} \cdot L_{ex} \cdot f_r^2 \cdot P_{rel.r} \cdot Y_r^2}{0,162 \cdot V \cdot (2|r|+1) \cdot 10^{-12}} \right] =$$

$$= 10 \cdot \log \left[ 6,44 \cdot 10^{17} \frac{D_{ex} \cdot L_{ex} \cdot \pi}{V} \frac{f_r^2 \cdot P_{rel.r} \cdot Y_r^2}{2|r|+1} \right] \quad [\text{dB}] \quad (140)$$

Cu relațiile (12) și (133) se poate determina nivelul de presiune sonoră pentru unda acustică de ordinul r, pe suprafața laterală exterioară a hidrogeneratorului, după cum urmează:

$$L_{pr} = 20 \log \frac{P_{ef.r}}{p_0} = 20 \cdot \log \left[ \frac{13,2 \cdot f_r \cdot \sqrt{P_{rel.r}} \cdot Y_r}{2 \cdot 10^{-5}} \right] =$$

$$= 20 \cdot \log \left[ 9,1 \cdot 10^7 \cdot f_r \cdot \sqrt{P_{rel.r}} \cdot Y_r \right] \quad [\text{dB}] \quad (141)$$

Insumînd toate componentele de zgomot de ordinul r, inclusiv fundamentala, se obține nivelul de zgomot electromagnetic  $L_{pem}$ .

După [2], nivelul de zgomot se poate determina cu relația:

$$L_i = 10 \log \left[ \frac{3,6 \cdot P_{ac} \cdot n^2}{a^2} \right] + k' \quad [\text{dB}] \quad (142)$$

unde:

$P_{ac}$  - puterea activă a hidrogeneratorului

- $n$  - turația hidrogenatorului  
 $a$  - distanța de la suprafața laterală a generatorului la punctul de măsură  
 $K'$  - coeficient determinat experimental, are valori 8-12 dB

Pentru distanța normalizată  $a = 1$  m, relația (142) devine:

$$\begin{aligned} L_i &= 10 \log P_{ac} + 20 \log n + 10 \log 3,6 + K' = \\ &= 10 \log P_{ac} + 20 \log n + 5,563 + K' = \\ &= 10 \log P_{ac} + 20 \log n + K \quad [dB] \end{aligned} \tag{143}$$

unde  $K = K' + 5,563 \approx 14 \div 18$  dB

Cu ajutorul relației (143) se pot trasa curbe de nivel de zgomot  $L_i = f(P_{ac}, n)$  în funcție de puterea și turația hidrogenatoarelor, cu ajutorul cărora se poate determina nivelul preliminar de zgomot.

## 2.2 - ZGOMOTUL AERODINAMIC

Zgomotul aerodinamic la hidrogenatoare este produs de următoarele surse:

- rotorul cu poli aparenti prin frecare cu aerul;
- ventilatoarele;
- turbioanele în curentul de aer;
- circuitul de ventilație prin variațiile de secțiune și direcție .

În majoritatea cazurilor, sursa principală de zgomot aerodinamic este rotorul cu poli aparenti și ventilatoarele integrate, al căror debit de aer în funcție de timp este  $Q(t)$ . Scurgerea acestui debit de aer prin circuitul de ventilație închis se poate realiza în următoarele regimuri:

- laminar, cînd în fiecare punct al circuitului viteza de scurgere a aerului este constantă și deci nu produce zgomot aerodinamic
- turbulent, cînd variațiile de viteză ale aerului produc fluctuații de presiune, care se propagă la distanță cu viteza sunetului. Dacă fluctuațiile de presiune sînt suficient de rapide se produce desprinderea straturilor limită de aer ceea ce are ca efect apariția turbionilor care în final determină zgomotul aerodinamic.

Scurgerea turbulentă este determinată în măsură considerabilă de prezența polilor aparenti spre ieșirea aerului din ventilatoare, de prezența obstacolelor în calea intrării sau ieșirii aerului dintre paletele ventilatorului, precum și de distanța mică dintre ventilator și camera de aer. În acest din urmă caz diferența de presiune după cele două fețe ale paletelor ventilatoarelor, determină pulsații de presiune care se difuzează pe suprafața scuturilor și se transformă într-un mediu învîrtitor sub formă de unde sonore, a căror intensitate depinde de:

- mărimea spațiului;
- diferența de presiune pe fețele paletelor;
- calitatea suprafețelor;
- rigiditatea scuturilor.

Din această cauză nivelul și spectrul zgomotelor depinde mult de mărimea spațiului difuzor, care în general nu poate fi realizat în condiții optime. Cînd distanța este mică și apar și obstacole fixe în curentul de aer în apropierea ventilatorului, zgomotul are caracterul unui zgomot pur, denumit sunet de sirenă, avînd frecvența de rotație a paletelor ventilatorului:

$$f_s = N_p \cdot n \quad (144)$$

unde  $N_p$  este numărul de palete, iar  $n$  este turația ventila-

torului.

Dacă lipsesc obstacolele iar spațiul difuzor este suficient de mare, sunetele pure dispar, iar nivelul total de zgomot este mai scăzut, avînd un spectru cu caracter mai uniform, specific surselor turbionare producătoare de zgomot.

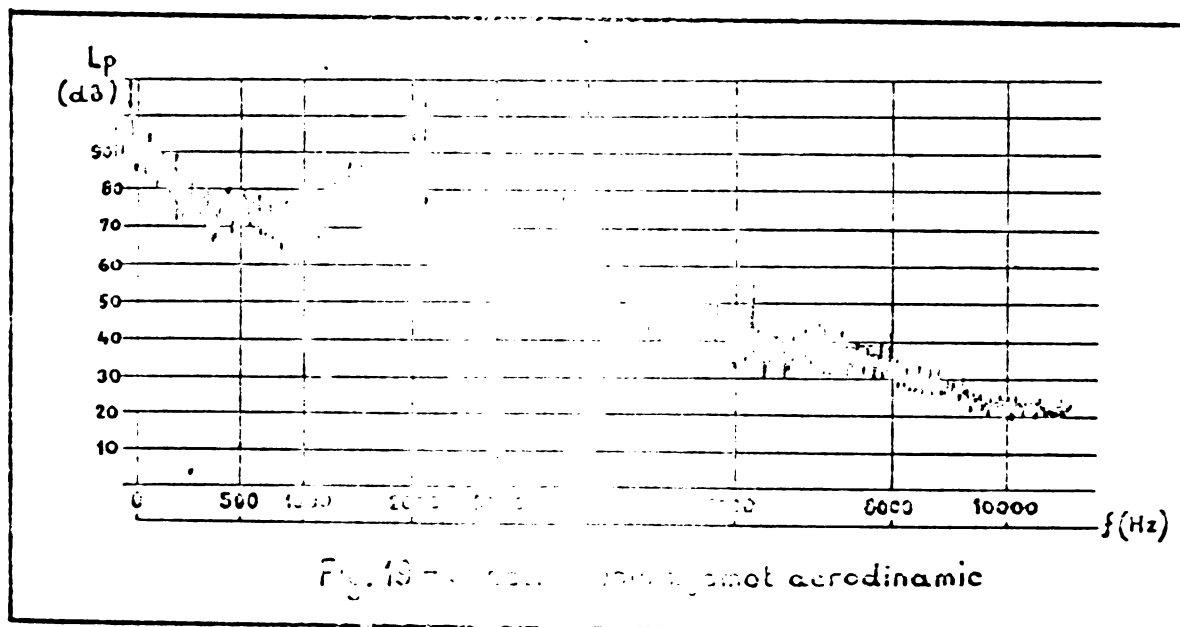
Frecvența zgomotului produs de rotorul hidrogenatorului și ventilatoarele integrate este un multiplu al frecvenței exprimate prin relația (144), adică:

$$f_{rv} = \gamma \cdot N_p \cdot n \quad (145)$$

unde  $\gamma$  este numărul de ordine al armonicei

Zgomotul determinat de neomogeneitatea curentului de aer are aceeași frecvență, iar zgomotul are o bandă largă de frecvență.

Pentru ilustrare în fig.19 se prezintă spectrul unui zgomot aerodinamic, la care peste zgomotul fundamental apar unele componente periodice de sunete pure sau tonuri, care pot fi rezultate ale efectului de sirenă - dacă sînt de natură aerodinamică, sau ale armonicilor de cîmp - dacă sînt de natură electromagnetică, sau ale factorilor mecanici (perii, lagăre) - dacă sînt de natură mecanică. Este indicat ca vîrfurile produse de sunete să nu depășească prea mult zgomotul fundamental, pentru a putea beneficia de efectul de mascare al acestuia.



In general zgomotul este definit ca un proces în funcție de timp, care se compune dintr-un număr mare de procese individuale, independente între ele. In cazul zgomotului aerodinamic procesele individuale sînt impulsuri acustice, legate de formarea unui mare număr de turbionări. După definiția de mai sus, desfășurarea presiunii acustice în funcție de timp nu poate fi exprimată analitic printr-o funcție de timp, deoarece este un fenomen aleatoriu, iar amplitudinea presiunii la un moment dat nu este determinată.

Producerea aerodinamică a zgomotului este legată de prezența unui turbion, care din punct de vedere acustic poate fi asimilat cu o sferă pulsantă. Puterea acustică a acestei surse după [32] este:

$$P = p \cdot S \frac{v^2}{c} = \frac{1}{2} \rho \cdot v^2 \cdot 2\pi r^2 \frac{v^2}{c} = \frac{1}{2} \rho \cdot v^3 \cdot 2\pi r^2 \frac{v}{c} \quad (146)$$

unde:

|                            |   |
|----------------------------|---|
| $p$ - presiunea sursei,    | $\frac{1}{2} \rho v^3$ - puterea de scurgere pe unitate de suprafață, |
| $v$ - viteza particulelor, | $S$ - suprafața laterală a sferei,                                    |
| $c$ - viteza sunetului,    | $r$ - raza sferei.  |

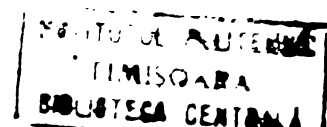
Dacă se consideră două surse foarte apropiate una de alta și în opoziție de fază, se obține un dipol acustic, a cărui putere acustică este:

$$P = \frac{1}{2} v^3 \cdot S \frac{v^3}{c^3} = K_1 \cdot S \cdot v^6 \quad (147)$$

Aplicînd această relație în cazul ventilatoarelor pentru care sînt valabile relațiile:

$$v = \pi \cdot d_2 \cdot n \quad S = k \cdot d_2^2 \quad (148)$$

se obține expresia puterii acustice a ventilatoarelor sub formă generală, în funcție de diametrul exterior și turația



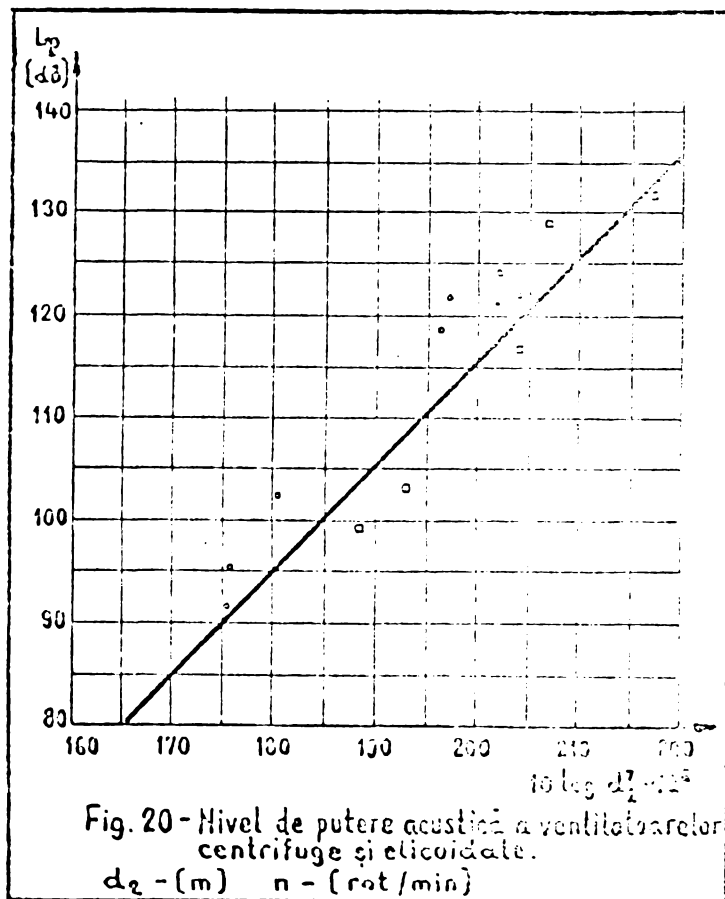
ventilatorului:

$$P = k \cdot d_2^7 \cdot n^6 \quad (149)$$

Nivelul puterii acustice a ventilatoarelor după relația (14) devine:

$$L_p = 10 \log \frac{P}{P_0} = 10 \log [k \cdot d_2^7 \cdot n^6] \quad [dB] \quad (150)$$

a cărei curbă de variație, prezentată în fig.20, este obținută



prin măsurarea puterii acustice pe un număr mare de ventilatoare radiale și elicoidale, în funcție de  $(10 \log d_2^7 \cdot n^6)$  și care este o dreaptă. Cu ajutorul fig.20 se poate determina  $L_p$  și deci  $K$  pentru orice ventilator pentru care sînt date  $d_2$  și  $n$ .

Cu ajutorul relației (26) pentru  $r = 1$  m se poate calcula nivelul presiunii acustice determinat de ventilator, astfel:

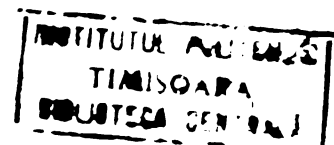
$$L_p = L_p - 14 \quad [dB] \quad (151)$$

Relația propusă de Lighthill permite să se calculeze puterea acustică în funcție de spectrul acustic, după cum urmează:

$$P = \int W \cdot \Delta F \quad (152)$$

unde:

$W$  = densitatea spectrală a puterii



$F$  - lărgimea benzii de frecvență,  
 $\Delta F$  - lărgimea elementară.

Suprafața din relația (148) se mai poate exprima prin:

$$S = b \cdot d_2 \cdot N_p \quad (153)$$

unde:

$b$  - lățimea paletelor  
 $d_2$  - diametrul exterior al ventilatorului.

Din relațiile (147) și (152) rezultă coeficientul  $K$  în funcție de frecvență, care are expresia:

$$K = \frac{\int_0^{\infty} W \cdot \Delta F \frac{d_2}{v}}{N_p \cdot b \cdot d_2^2 \cdot v^5} \quad (154)$$

sau logaritmand:

$$10 \log K = 10 \log \int_0^{\infty} W \cdot \Delta \left( \frac{F \cdot d_2}{v} \right) - 10 \log N_p \cdot b \cdot d_2^2 \cdot v^5 \quad (155)$$

unde:

$\frac{F d_2}{v}$ , este numărul lui Strouhal

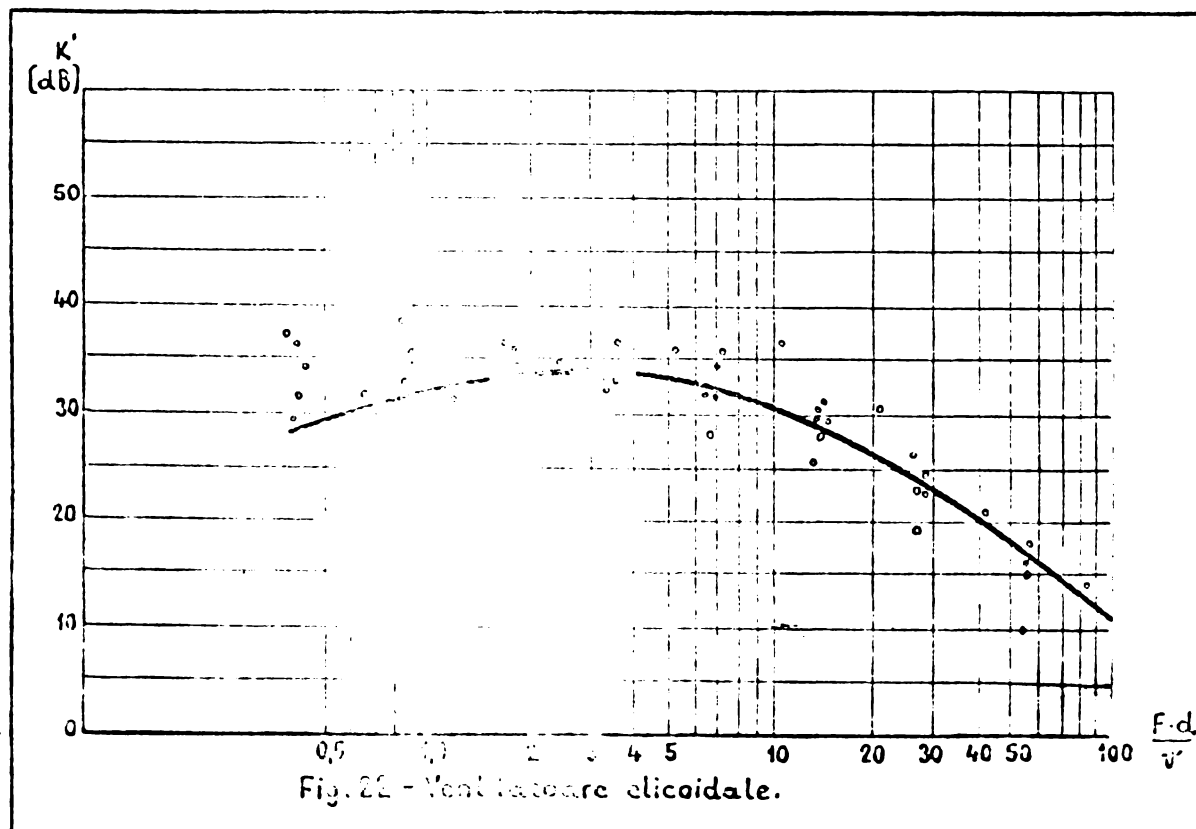
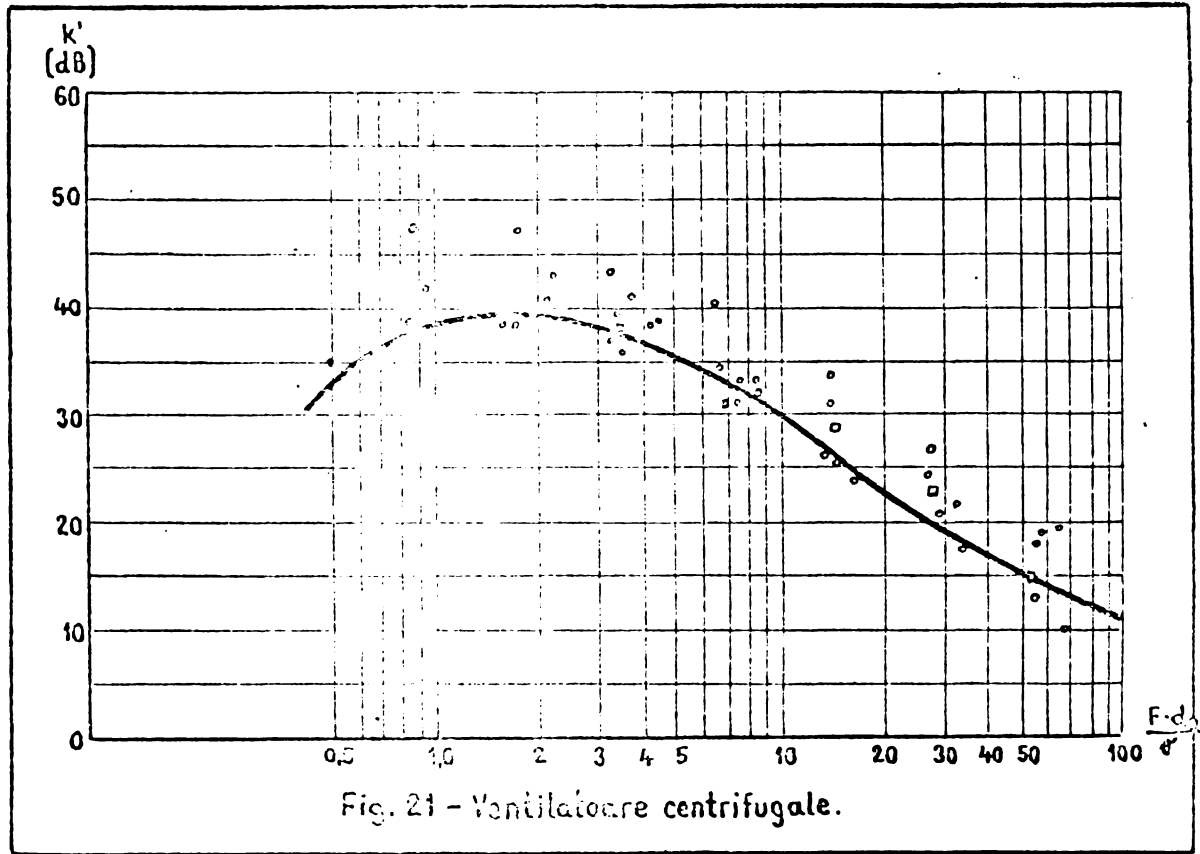
$10 \log \int_0^{\infty} W \cdot \Delta \left( \frac{f \cdot d_2}{v} \right)$ , este densitatea spectrală a puterii acustice.

Curba definită prin relația:

$$K' = 10 \log K = 10 \log \int_0^{\infty} W \cdot \Delta \left( \frac{f \cdot d_2}{v} \right) - 10 \log N_p \cdot b \cdot d_2^2 \cdot v^5 = f \left( \frac{F \cdot d_2}{v} \right)$$

în funcție de numărul lui Strouhal, numită curbă spectrală, este valabilă pentru toate ventilatoarele de un anumit tip constructiv. Această curbă, trasată pe baza măsurărilor efectuate pe o gamă mare de ventilatoare, este prezentată în fig.21 pentru ventilatoarele centrifugale, iar în fig.22 pen-

tru ventilatoarele elicoidale. Cu ajutorul acestor figuri se poate determina, pentru un ventilator oarecare, puterea acustică minimă și alura spectrului său.





În acest mod se poate prezenta zgomotul teoretic minim al unui ventilator. Comparând spectrul de zgomot măsurat cu cel teoretic se pot stabili influențele surselor secundare, bazate pe:

- efectul de sirenă,
- obstacole fixe apropiate de palete,
- rezonanță acustică,
- rezonanță mecanică,
- obstacole și strangulări pe circuit.

Alegerea corectă a tipului de ventilator are o mare importanță pentru prevenirea nivelului de zgomot aerodinamic ridicat. Pentru aceasta tipul de ventilator se stabilește în funcție de turația specifică, definită prin relația:

$$n_s = 23,27 \frac{\sqrt{Q_a}}{\sqrt[4]{H_a^3}} n \quad (156)$$

unde:

$Q_a$  - debitul de aer,

$H_a$  - presiunea aerului.

În funcție de valoarea turației specifice, cu ajutorul fig.23 se alege forma geometrică a ventilatorului.

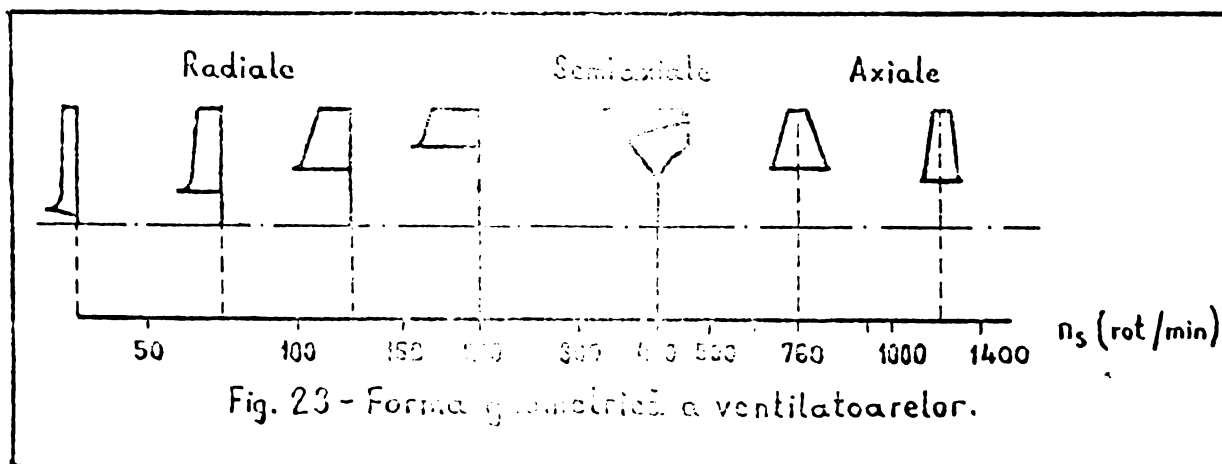


Fig. 23 - Forma geometrică a ventilatoarelor.

Astfel pentru turații specifice mici se recomandă ventilatoare centrifugale radiale înguste, care se lărgesc odată cu creșterea turației specifice, iar pentru turații specifice ridicate corespund ventilatoarele axiale. Între

cele două domenii apar ventilatoarele semiaxiale, care nu au întrebuințare la hidrogenatoare. Randamentul ventilatorului crește cu turația specifică. Sursele de pierderi aerodinamice și sursele de zgomot coincid în mare măsură, de aceea condiția de bază pentru reducerea nivelului de zgomot este mărirea randamentului ventilatorului. Pe baza unui număr mare de probe [11] a rezultat că diferența dintre puterea acustică produsă de un rotor de mașină electrică care se rotește liber în aer, față de același rotor introdus în stator, este mică. Puterea acustică a unui rotor pentru un domeniu de viteze periferice pînă la  $u = 150$  m/s este:

$$P \sim P_0 \cdot S \left( \frac{u}{u_0} \right)^\beta \quad (157)$$

unde:

$P_0 = \frac{P}{S}$ , este puterea acustică specifică pentru viteza periferică de referință  $u_0$ .

$S = \pi D_2 L$ , este suprafața laterală a rotorului,

$u = \pi D_2 n$ , este viteza periferică a rotorului,

$\beta = 5-6$ , exponent care se determină experimental.

Presiunea acustică efectivă  $p_{ef}$  la distanța  $r$  de la centrul sursei acustice este invers proporțională cu distanța  $r$ , iar puterea acustică, conform relației (5), este:

$$P = \frac{p_{ef}^2}{\rho \cdot c} S_1 \quad (158)$$

unde:

$S_1 = K \pi r^2$ , este suprafața laterală a sferei sau semisferei cu raza  $r$ , care este străbătută de puterea acustică.

$K = 2; 4$ , pentru semisferă, respectiv sferă.

Presiunea acustică efectivă la distanța  $r$  de centrul sursei, rezultată din relația (158), este:

$$p_{ef} = \sqrt{\rho \cdot c \frac{P}{S_1}} \quad (159)$$

Tinând seamă de (157) rezultă:

$$p_{ef} = \sqrt{\rho \cdot c \cdot P_c \frac{S}{S_1} \left( \frac{u}{u_0} \right)^\beta} \quad (160)$$

Nivelul de presiune acustică, conform relației (10) este:

$$\begin{aligned} L_p &= 20 \log \frac{p_{ef}}{p_0} = 20 \log \sqrt{\frac{\rho \cdot c \cdot P_c}{\rho_0^2} \frac{S}{S_1} \left( \frac{u}{u_0} \right)^\beta} = \\ &= 20 \log \sqrt{\frac{P_c}{\rho_0^2} \frac{S}{S_1} \left( \frac{u}{u_0} \right)^\beta} = 20 \log \sqrt{\frac{P_c}{I_0} \frac{S}{S_1} \left( \frac{u}{u_0} \right)^\beta} = \\ &= 10 \log \frac{P_c}{I_0} + 10 \log \frac{S}{S_1} + 10 \beta \cdot \log \frac{u}{u_0} \quad [dB] \quad (161) \end{aligned}$$

Diferența dintre valorile calculate cu această relație și cele măsurate este de  $\pm 3$  dB. Pentru cazul mașinilor electrice uzuale s-au determinat următoarele valori:

$$\beta = 5-6 \quad P_0 = 5 \cdot 10^2 + 3 \cdot 10^3 \text{ w/m}^2 \text{ pentru } u_0 = c = 331 \text{ m/s}$$

Aceste valori trebuiesc determinate experimental și pentru cazul hidrogenatoarelor.

Pentru calculul nivelului de zgomot aerodinamic se propune [42] următoarea relație:

$$L_p = 60 \log u + 10 \log D_2 \cdot b + K_t \quad [dB] \quad (162)$$

Coeficientul total de corecție  $K_t$  se determină experimental, iar aproximativ se poate determina cu ajutorul relației:

$$K_t = K_1 + K_2 + K_3 - \varepsilon_c = (2 + 10) - 24,4 \cdot D_2 \quad [dB] \quad (163)$$

### 2.3- ZGOMOTUL MECANIC

Zgomotul de natură mecanică are o pondere mică în zgomotul total al hidrogenatoarelor; din această cauză, de cele mai multe ori este mascat de celelalte componente de zgomot.

Zgomotul și vibrațiile mecanice au ca surse:

- dezechilibrul rotorului,
- lagărele,
- perile de contact,

În cele ce urmează se vor examina factorii care contribuie la producerea fiecărei surse.

#### 2.3.1 - Dezechilibrul rotorului

Dezechilibrul rotorului, adică deplasarea centrului de greutate al masei rotorului cu o valoare mică  $\varepsilon$ , din axa de rotație a hidrogenatorului, care coincide cu axa de simetrie a statorului, poate fi determinat de următoarele cauze:

- neomogenitatea materialelor componente,
- distribuția asimetrică a maselor, cauzată de neprecizia fabricației și montajului,
- deplasarea pieselor sub acțiunea forțelor centrifuge în cursul rotației (bobine polare, piese de consolidare, plăci, etc.)

Dezechilibrul rotorului se manifestă prin bătăi radiale și axiale. Dezechilibrul rotorului în stare de repaos este dezechilibru static, iar cel în stare de rotație - dezechilibru dinamic.

Se consideră dezechilibru static prezentat în fig. 24, pentru care echilibrarea statică a rotorului se face adăugând o greutate de echilibrare  $G$  la distanța  $r$ , care satisface condiția de echilibru a momentelor:

$$G \cdot \varepsilon = \Delta G \cdot r$$

(164)

de unde

$$\Delta G = G \frac{\varepsilon}{r} \quad (165)$$

Aprecierea gradului de echilibrare se face cu ajutorul noțiunii de dezechilibru<sup>specific</sup>, care reprezintă valoarea momentului de echilibrare raportat la 1 kg din masa rotorului, adică:

$$\varepsilon = \frac{\Delta G \cdot r}{G} \quad (166)$$

În cazul rotației echilibrarea statică este insuficientă, deoarece apar forțe centrifuge datorită deplasării centrului de greutate, care în cazul general se poate prezenta ca în fig.25.

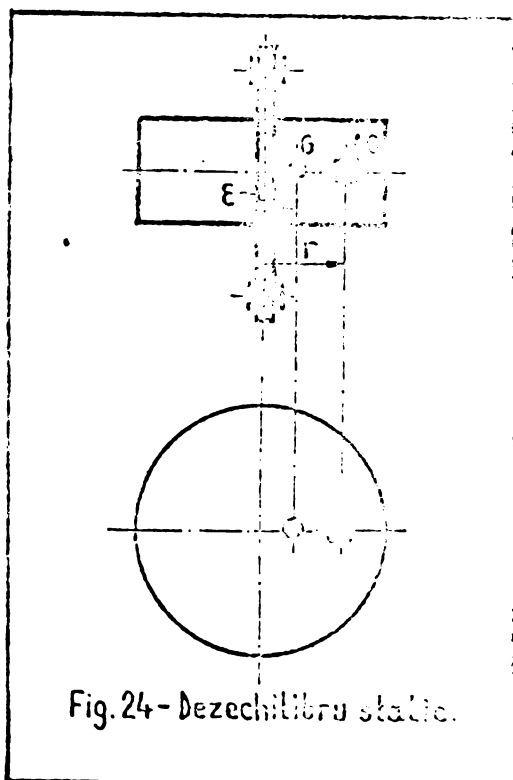


Fig.24 - Dezechilibru static.

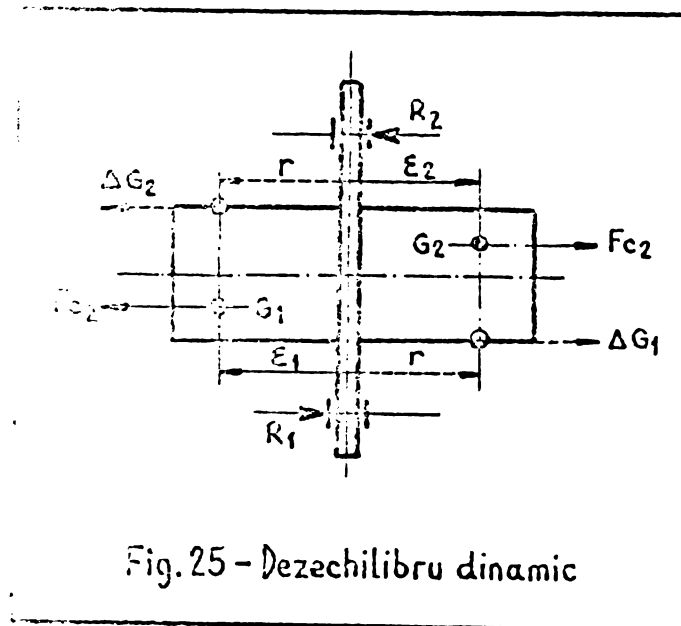


Fig.25 - Dezechilibru dinamic

Dezechilibrul static este reprezentat prin greutatea  $G_1$  și  $G_2$  ale rotorului, deplasate față de axa de rotație cu razele respective  $\varepsilon_1$  și  $\varepsilon_2$ . Aceste mase determină în timpul rotației forțele centrifuge  $F_{c1}$  și  $F_{c2}$  care, fiind în diferite plane transversale ale rotorului, formează un moment, care împreună cu forțele centrifuge determină forțe suplimentare de reacție în lagăre. Echilibrarea dinamică se efectuează

ză amplasînd greutatea de echilibrare  $G_1$  și  $G_2$  pe suprafețele laterale ale rotorului la distanța  $r$  față de axa de rotație. Forțele centrifuge care apar în timpul rotației sînt:

$$F_{c1} = M \cdot \varepsilon \cdot \omega^2 = 3,98 \cdot n^2 \cdot \Delta G_1 \cdot r_1 \quad (167)$$

$$F_{c2} = 3,98 \cdot n^2 \cdot \Delta G_2 \cdot r_2 \quad (168)$$

Aceste forțe fiind paralele se pot compune și înlocui printr-o forță centrifugă rezultantă  $F_0$ , care în raport cu timpul are o desfășurare sinusoidală, avînd frecvența de oscilație egală cu turația:

$$f = n \quad [Hz] \quad (169)$$

Pentru turația sincronă maximă a hidrogenatoarelor de  $n = 600$  rot/min, se obține pentru frecvența de oscilație valoarea  $f = 10$  Hz.

Rezultă că oscilațiile forțelor centrifuge determinate de dezechilibrul rotorului hidrogenatoarelor au frecvențe joase situate în domeniul infrasunetelor, motiv pentru care nu ~~trebuie~~ <sup>trebuie</sup> fi luate în considerare la determinarea nivelului de zgomot.

### 2.3.2 - Lagărele

Hidrogenatoarele sînt prevăzute cu lagăre de alunecare la care între segment și butuc este asigurată pelicula de ulei. Din această cauză mișcarea de alunecare dă naștere unor forțe de vibrație neînsemnate, care sînt aproape complet amortizate de pelicula de ulei. Datorită deformărilor inevitabile ale butucului și segmentilor, precum și a frecărilor dependente de ungere, sarcină, încălzire și de forțele periodice exterioare, apare un fișit de bandă largă de frecvențe, similar cu un zgomot alb. Zgomotul lagărelor prezintă interes numai ca zgomot structural.

Ca urmare lagărele de alunecare bine proiectate

și corect realizate sînt liniștite, iar componenta de zgomot produsă se poate neglija în comparație cu celelalte componente.

### 2.3.3 - Periile de contact

Periile de contact aplicate pe inelele rotorului stabilesc un contact alunecător solid, prin care se transmite puterea de excitație la înfășurarea rotorului. În procesul de funcționare, periile efectuează mișcări oscilatorii, ca urmare a bătăilor radiale ale inelelor, care se transmit la arcuri și la suportul de perie montat pe partea fixă a construcției hidrogenatorului.

Aceste vibrații determină zgomotul periilor de contact. Se disting două genuri de oscilații ale periilor:

- oscilații întreținute condiționate de structura suprafețelor de contact;
- autooscilații.

Oscilațiile întreținute sînt provocate de defecte de proiectare, fabricație și montaj, cum ar fi:

- calitate necorespunzătoare a materialelor și a suprafețelor de contact,
- jocuri dintre perii și suportți,
- defecte ale sistemului de apăsare,
- calitatea și numărul de îmbinări ale segmentelor de inele .

Frecvența armonice fundamentale a zgomotului periilor se poate determina cu relația:

$$f = k \cdot n \quad (170)$$

unde  $k$  - gradul de coincidență între numărul de îmbinări și numărul de rînduri de perii.

Aceste zgomote sînt de joasă frecvență, uneori intrînd în domeniul infrasunetelor.

Autooscilațiile periiilor sînt determinate de forțele de frecare și în unele cazuri coincide cu frecvența proprie a oscilațiilor de încovoiere ale periei, considerată ca o grindă încastrată, care poate fi determinată cu relația:

$$f = 0,462 \frac{h_p}{l_p} \sqrt{\frac{E_p}{\rho_p}} \quad (171)$$

unde:

$h_p$  ,  $l_p$  - grosimea și lungimea periei

$E_p$  - modulul de elasticitate al periei (grafit :  $8,157 \cdot 10^7$  N/m<sup>2</sup>)

$\rho_p$  = densitatea periei (grafit :  $2 \cdot 10^3$  kg/m<sup>3</sup>)

Măsurile pentru micșorarea zgomotului periiilor duc în același timp la îmbunătățirea contactului alunecător și în consecință la creșterea duratei de exploatare.

Prin creșterea numărului de perii, crește nivelul total de zgomot al periiilor cu aproximativ 3 dB, <sup>la dublarea numărului</sup> pentru un ~~număr dublu~~ de perii. Zgomotul va fi minim dacă brațele suporturilor de perii au posibilitatea unor mișcări independente.

#### 2.4 - Zgomotul total

Zgomotul total al hidrogenatorului este determinat de cele 3 componente de zgomot, care acționează simultan și anume:

- zgomotul electromagnetic (Lpem)
- zgomotul aerodinamic (Lpa)
- zgomotul mecanic (Lpm)

și care au fost determinate mai sus. Pentru determinarea nivelului total de zgomot se efectuează însumarea expusă la capitolul 1.4, cu ajutorul relației (20) aplicată în mod succesiv.



### 3. NORME PRIVIND NIVELUL DE ZGOMOT SI DE VIBRATII AL HIDROGENERATOARELOR

#### 3.1 - Zgomotul

In prezent indicii tehnici cu ajutorul cărora se poate aprecia calitatea hidrogenatoarelor, sînt:

- randamentul,
- parametrii de funcționare,
- siguranța în exploatare,
- mersul liniștit.

Ultimul indice este cel mai nou și se referă la nivelul de zgomot și de vibrații. Mersul liniștit devine deci o condiție tehnică în curs de generalizare, determinată de consecințele efortului de a obține indici economici cît mai ridicați pe seama creșterii pronunțate a tuturor solicitărilor.

Pentru aprecierea nivelului de zgomot și de vibrații în prezent se acționează în direcția stabilirii unor norme corespunzătoare.

Aprecierea calității hidrogenatoarelor sub aspectul vibroacustic se bazează pe următoarele criterii:

- solicitările vibroacustice ale hidrogenatoarelor nu trebuie să depășească anumite limite,
- calitatea funcționării hidrogenatoarelor să nu fie afectată de solicitările vibroacustice,
- nivelul de zgomot și vibrații să nu afecteze exploatarea hidrogenatoarelor și solicitarea psico-fizică a personalului de serviciu,

In funcție de nivelul și spectrul zgomotului sub raportul efectelor nocive asupra omului se remarcă următoarele domenii:

- zgomotul al cărui nivel este peste 120-140 dB, poate produce degradarea mecanică a auzului.

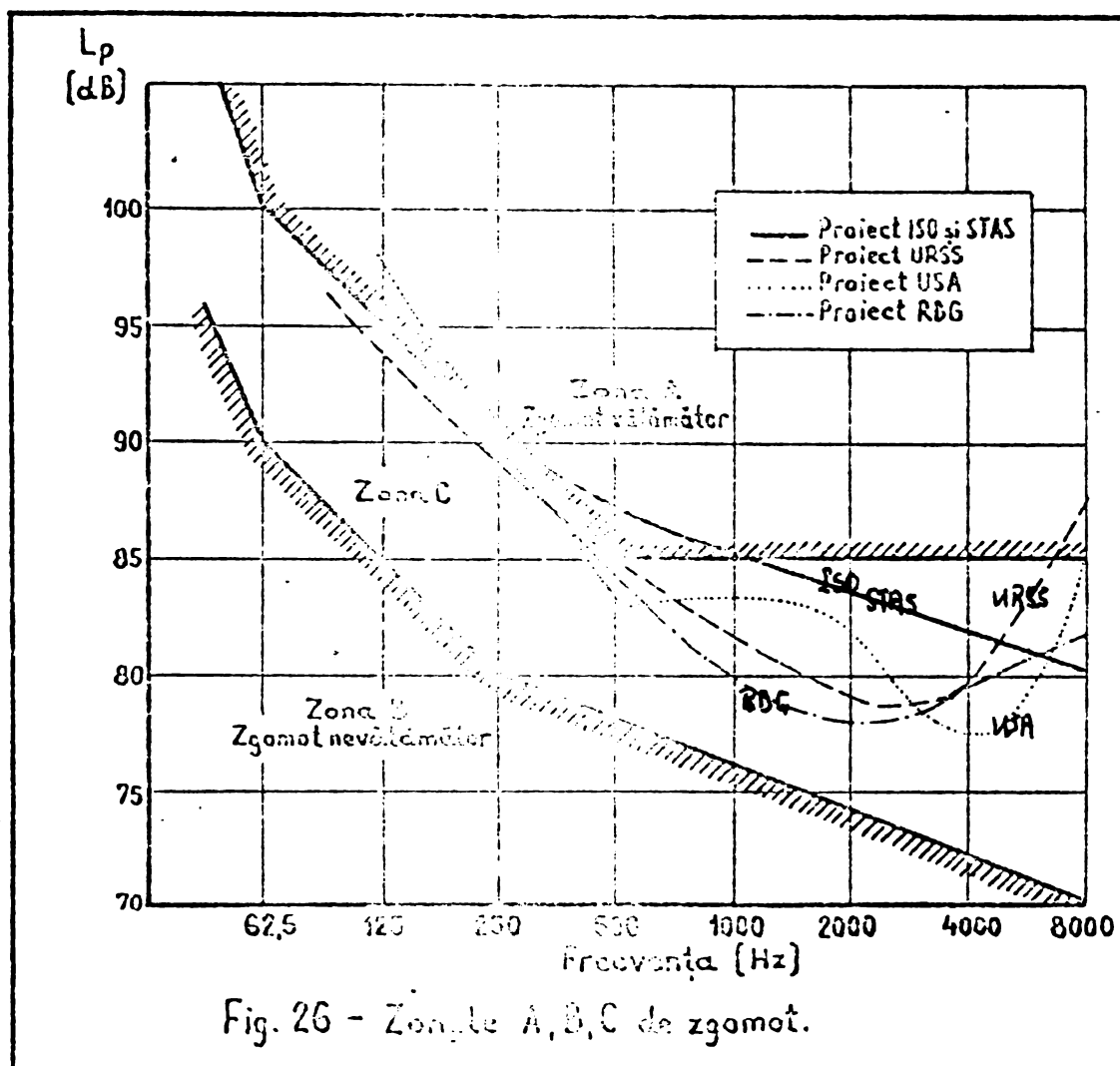
- zgomotul al cărui nivel depășește 100-120 dB la frecvențe joase și de 80-90 dB la frecvențe medii și înalte, poate provoca modificări ireversibile ale organului auzului,
- zgomotul estimat prin nivelul presiunii acustice în benzi de octavă cu frecvența medie de 500, 1000 și 2000 Hz,
- zgomotul cu niveluri mai scăzute are o acțiune negativă asupra sistemului nervos, împiedică odihna și munca intelectuală a omului.

Ca urmare drept criterii de apreciere a nivelului de zgomot sînt modificările funcțiunilor sistemului nervos și reacția sa subiectivă. Deci normele de zgomot trebuie să stabilească condițiile suportabile, la care acțiunea dăunătoare a zgomotului asupra omului nu se manifestă, ținînd seamă totodată și de aspectul economic al problemei.

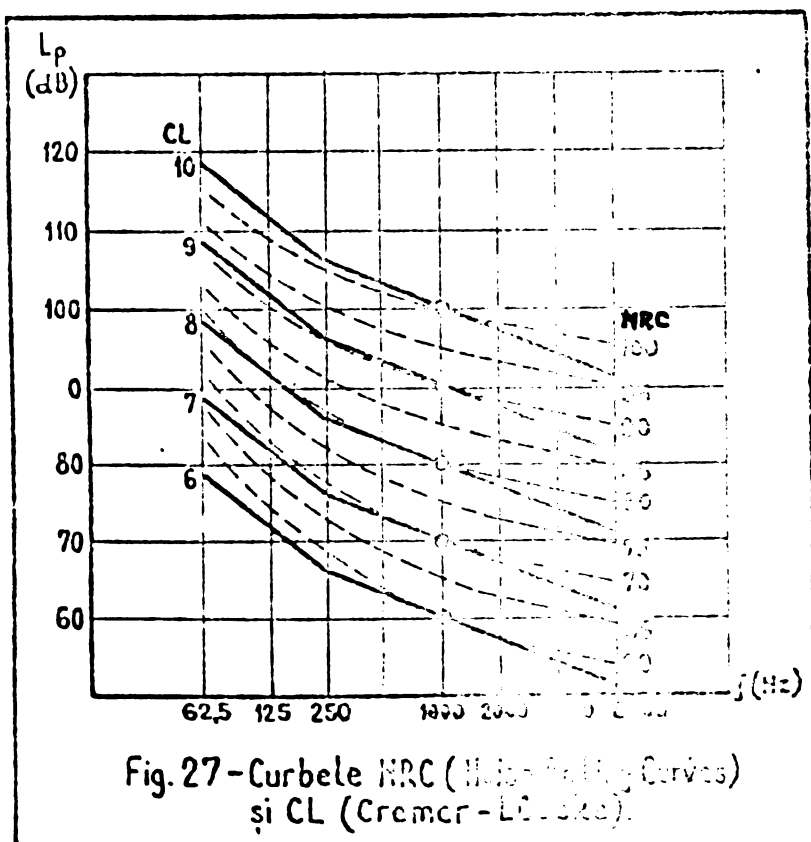
Pe baza rezultatelor cercetărilor efectuate pînă în prezent rezultă că domeniul audibil poate fi împărțit în 3 zone, cu mici diferențe de demarcație între ele, în funcție de autori, așa cum se prezintă în fig.26.

În prezent nu există încă, nici în țară și nici în străinătate, norme oficiale care să reglementeze nivelul admisibil de zgomot pentru hidrogenatoare. Există însă unele recomandări, care se bazează de fapt pe curbele de egală senzație auditivă ale lui Fletcher-Munson. Pe bază de experiență a rezultat ca o constatare unanimă, consemnată și în normele ISO, că pierderea auzului este preîntîmpinată dacă nivelul de presiune acustică a zgomotului nu depășește curba de egală senzație auditivă de 85 Foni. Pentru aprecierea nivelului de zgomot sînt propuse cîteva recomandări constînd din curbe de nivel de zgomot în funcție de frecvență, față de care se raportează spectrul zgomotului măsurat.

Autorii americani propun familia de curbe cunoscută sub numele de NRC (Noise Rating Curves) și prezentate cu



linii întrerupte în fig.27.



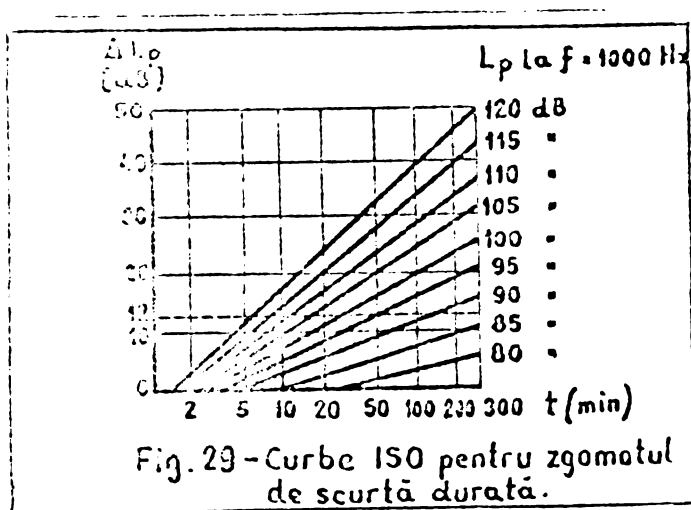
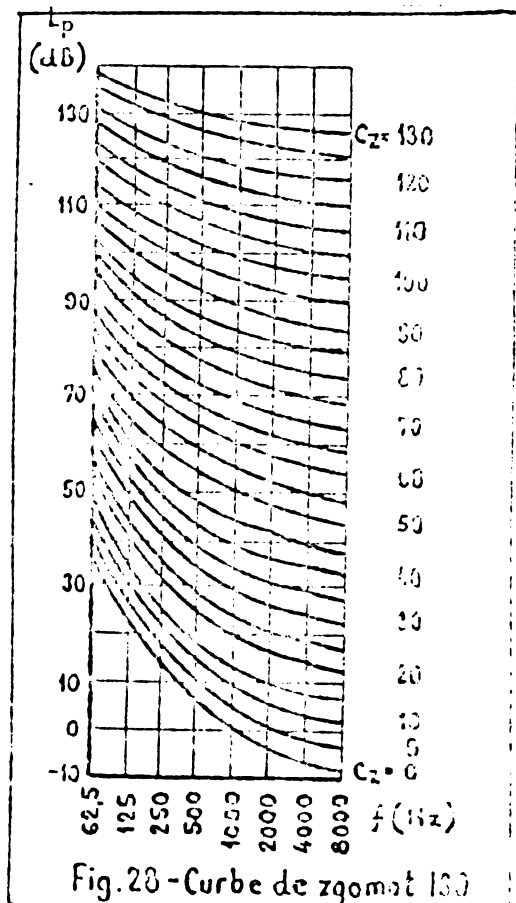
Aceste curbe sînt distanțate între ele cu 5 dB, la frecvența de 1000 Hz, iar în domeniul determinat de 62,5-8000 Hz au o alură continuă căzătoare. Fiecare curbă este marcată prin valoarea numerică în dB la 1000 Hz. Reprezentarea acestor curbe continuă prin aparatele de măsură existente este însă grea și din această cauză autorii germani Cremer-Lübcke au

propus reprezentarea nivelului de zgomot prin linii frînte, prezentate de asemenea în fig.27. Frîngerea are loc la frecvența de 250 Hz; ~~care~~ peste 250 Hz <sup>Limite lor</sup> cad cu 3 dB pe octavă, iar sub 250 Hz urcă cu 6 dB. Aceste drepte sînt notate la frecvența de 1000 Hz cu numărul de ordine al treptei de zgomot, de la 6 la 11 și sînt distanțate între ele cu 10 dB. Deosebirea între curbele NRC și dreptele Cremer-Lübcke este mică.

Pentru normarea zgomotului, comitetul tehnic 43 al Organizației internaționale de standardizare a propus recomandarea ISO-TC 43, care se bazează pe familia de curbe din fig.28 și fig.29.

Curbele din fig.28 cuprind domeniul  $C_z = 0-130$  dB la 1000 Hz și limitează nivelurile în 3 benzi de octavă, de la 62,5 la 8000 Hz, pentru expunere de durată la acțiunea zgomotului.

În cazul expunerii de scurtă durată creșterea admisibilă de nivel de zgomot pentru o curbă dată se poate determina din fig.29 și se aplică pragului corespunzător pentru 2000 Hz.



De asemenea se mai stabilește că pentru protejarea auzului, zgomotul de bandă largă, care acționează continuu 5 ore pe zi sau mai mult, nu trebuie să depășească  $C_z = 85$  la frecvențele de 500, 1000 și 2000 Hz. În cazul când zgomotul de bandă largă acționează scurtă durată, deci mai puțin de 5 ore pe zi, se admite o curbă de zgomot ridicată, a cărei valoare se determină cu aju-

torul fig.29, de unde rezultă că deplasarea maximă pentru o expunere de 5 ore este de 12 dB la frecvența de 2000 Hz, cu mențiunea că restabilirea zgomotului se admite la cel mult 10 zile după expunere.

Pe baza studiului influenței diferitelor zgomote asupra auzului, efectuate pe 4000 oameni, de către Institutul de protecția muncii din Leningrad, în concluzie, I.I.Slavin a propus sistemul de normare a zgomotelor admisibile prezentat în tabela 6.

Tabela 6 - Nivelul de zgomote admisibile

| Clasa | Caracterizarea zgomotului   | Nivelul admisibil [dB] |
|-------|---|------------------------|
| 1     | <u>Zgomote de joasă frecvență (<math>f &lt; 350</math> Hz)</u><br>Nivelurile maxime sînt situate sub 350 Hz, iar cele peste 350 Hz scad cu minim 5 dB pe octavă | 90 ÷ 100               |
| 2     | <u>Zgomote de medie frecvență (<math>f = 350 \div 800</math> Hz)</u><br>Idem, dar 800 Hz  | 85 ÷ 90                |
| 3     | <u>Zgomote de înaltă frecvență (<math>f &gt; 800</math> Hz)</u><br>Idem, dar peste 800 Hz   | 75 ÷ 85                |

Rezultă că, <sup>în</sup> pentru domeniul perceptibil de frecvențe, ~~adică~~ mai mare de 500 Hz, nivelul admisibil de zgomot este 85 dB.

Nivelul de zgomot al unei mașini electrice poate fi mai mare sau mai mic decît nivelul zgomotului de fond al spațiului în care aceasta funcționează, în care caz aceeași mașină poate fi considerată zgomotoasă sau liniștită în raport cu nivelul zgomotului de fond. Rezultă deci, că nivelul de zgomot relativ, care reprezintă diferența dintre cele două nivele de zgomot, este un criteriu de apreciere pentru care, după literatura de specialitate, există două limite de valori

reprezentate în tabela 7, după care mașinile pot fi încadrate în categoria fără zgomot, cu zgomot redus, sau cu zgomot exagerat.

Tabela 7 - Aprecierea nivelului de zgomot al mașinilor electrice

| Categoriza de zgomot a mașinilor electrice | Criteriul de apreciere [Foni] |                         |
|--|-------------------------------|-------------------------|
|  | I                             | II                      |
| Fără zgomot                                | $L_F - L_M = 10-20$           | $L_F - L_M \geq 10$     |
| Zgomot redus                               | $L_F - L_M \geq 5$            | $L_M - L_F \leq 1$      |
| Zgomot exagerat                            | $L_M - L_F \geq 5$            | $L_M - L_F = 1 \div 10$ |

S-a notat:  $L_F$  - zgomot de fond       $L_M$  - zgomotul mașinii electrice

După propunerea de standard elaborată de autor în cadrul ICPEH se recomandă ca nivelele admisibile de zgomot pentru hidrogenatoare, determinate la distanța de 1 m de la suprafața exterioară aflată în sala de mașini, să nu depășească următoarele curbe de zgomot definite de ISO-TC 43:

- Calitate normală : .....  $C_z = 85$
- Calitate bună : .....  $C_z = 80$
- Calitate f. bună : .....  $C_z = 75$
- Calitate specială: .....  $C_z = 70$

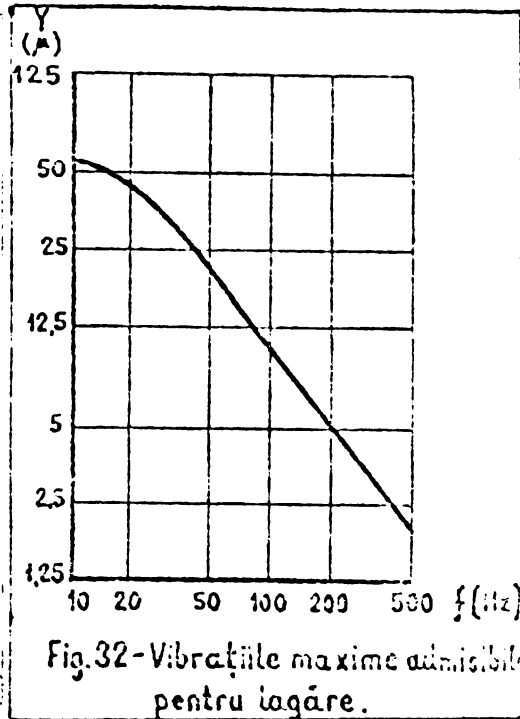
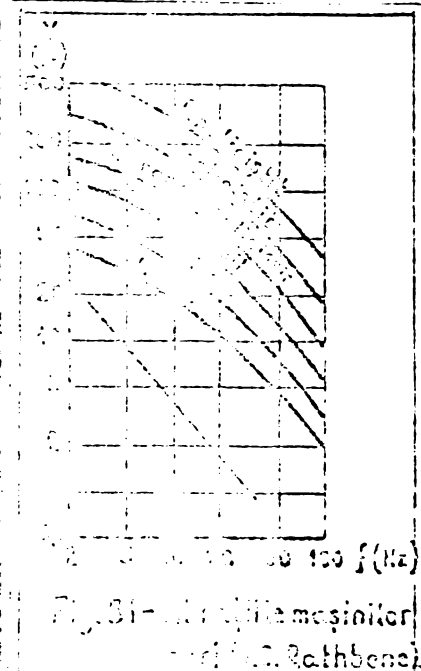
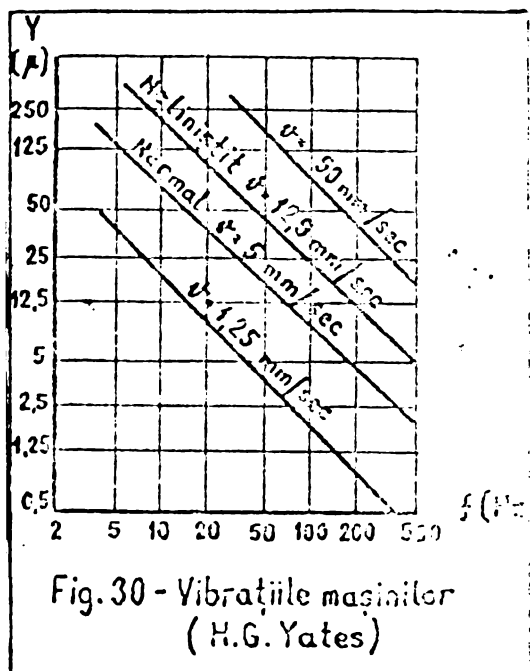
### 3.2. Vibrațiile

Pentru aprecierea nivelului de vibrații al hidrogenatoarelor se pot lua în considerare amplitudinea, viteza și accelerația vibrației. În mod uzual se determină amplitudinea simplă, iar uneori și viteza.

Pentru prima dată H.C. Yates și T.C. Rathbon din SUA au întocmit diagramele de apreciere a vibrațiilor pentru mașini și instalații de forță, care sînt prezentate în fig.30

și fig.31.

In fig. 32 sînt prezentate prescripțiile militare ale SUA pentru valorile maxime admisibile ale vibrațiilor lagărelor



Pentru aprecierea mersului liniștit al mașinilor electrice, literatura germană de specialitate face împărțirea în mai multe grupe specifice, dintre care următoarele două grupe prezintă interes pentru hidrogenatoare:

- Grupa G : Mașini de forță și de lucru mari, pe fundații tari executate cu grijă deosebită
- Grupa T : Turbomașini pe fundații ușoare executate cu grijă deosebită și prevăzute cu vibroizolații

Pentru mașinile electrice din categoria G și T în fig.33 și fig.34 sînt prezentate diagramele pentru determinarea amplitudinii vibrațiilor, iar în tabela 8 sînt prezentate categoriile indicilor de calitate a vibrațiilor în funcție de treptele de mărime ale indicilor de vibrații definite după VDI în tabela 9. Valorile prescrise pentru vibrații nu pot fi

depășite în nici un punct aflat pe interiorul hidrogenatorului.

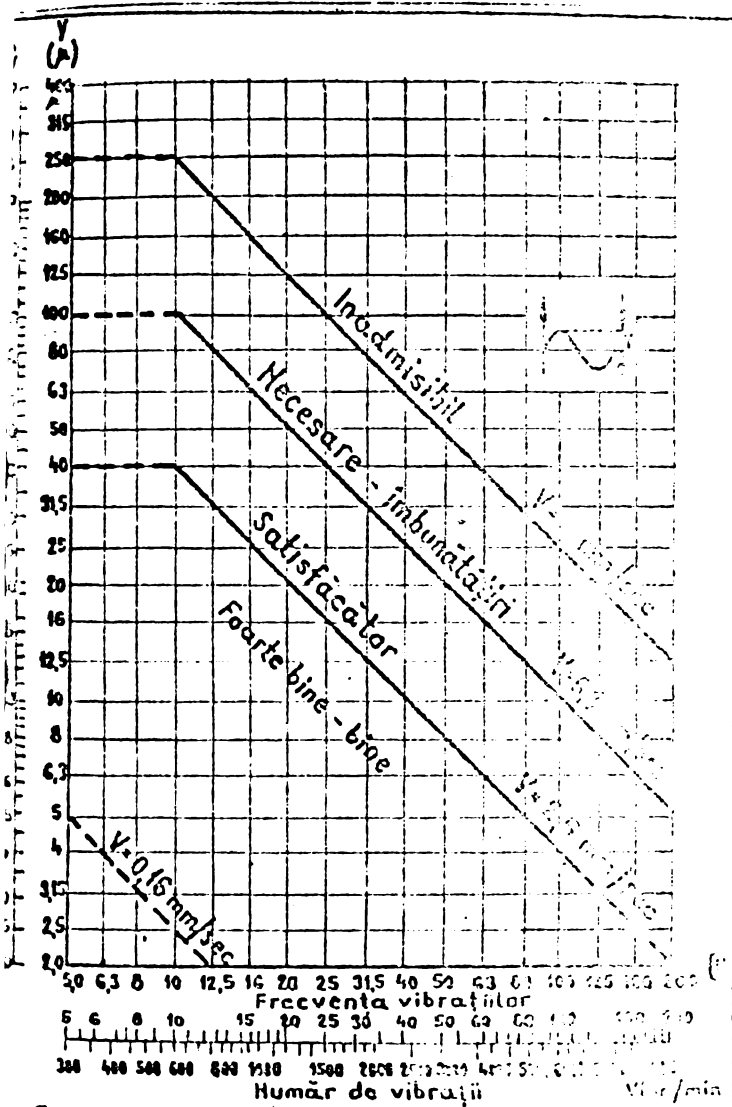


Fig. 33 - Calitatea vibrațiilor pentru mașini mari din categoria G.

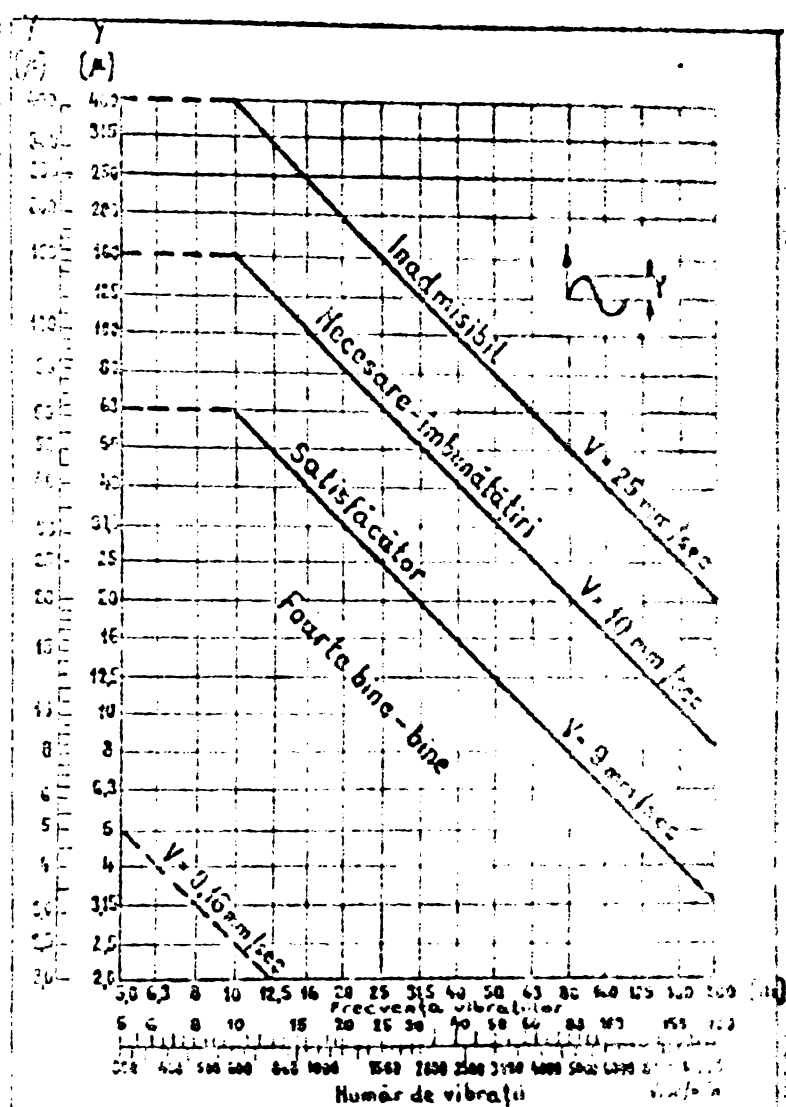


Fig. 34 - Calitatea vibrațiilor pentru Turbinașini din categoria T.

Tabela 8 - Indicii de calitate a vibrațiilor

| Trepte | Categorii mașinilor |                     |
|--------|---------------------|---------------------|
|        | G                   | T                   |
| 0,63   | Foarte bine-bine    | Foarte bine-bine    |
| 1      |                     |                     |
| 1,6    |                     |                     |
| 2,5    |                     |                     |
| 4      | Suficient           | Suficient           |
| 6,3    |                     |                     |
| 10     | Se impun îmbunătăț. | Se impun îmbunătăț. |
| 16     |                     |                     |
| 25     | Inadmisibil         | Inadmisibil         |
| 40     |                     |                     |



Tabela 9 - Scara indicilor de vibrații după VDI

| Treapta | Viteza vibrațiilor<br>(mm/sec) | Amplitudinea vibrațiilor<br>la 50 Hz [ $\mu$ ] |
|---------|--------------------------------|--|
| 0,25    | 0,16 - 0,25                    | 0,8  |
| 0,4     | 0,25 - 0,4                     | 1,25   |
| 0,63    | 0,4 - 0,63                     | 2  |
| 1       | 0,63 - 1                       | 3,15   |
| 1,6     | 1 - 1,6                        | 5  |
| 2,5     | 1,6 - 2,5                      | 8  |
| 4       | 2,5 - 4                        | 12,5   |
| 6,3     | 4 - 6,3                        | 20   |
| 10      | 6,3 - 10                       | 31,5   |
| 16      | 10 - 16                        | 50   |
| 25      | 16 - 25                        | 80   |
| 40      | 25 - 40                        | 125  |

#### 4. MASURI PENTRU REDUCEREA NIVELULUI DE ZGOMOT SI VIBRATII

Stabilirea măsurilor pentru reducerea nivelului de zgomot și vibrații al hidrogenatoarelor, reprezintă de fapt scopul final și materializat al prezentei lucrări. Asigurarea mersului liniștit al hidrogenatoarelor trebuie să fie rezultatul unei cumpăniri echitabile a celor trei categorii determinante:

- omul,
- mașina,
- costul.

Nu trebuie exagerate exigențele privind gradul de mers liniștit. În vederea stabilirii măsurilor privind reducerea nivelului de zgomot și vibrații se impune studierea următoarelor aspecte:

- nivelul de zgomot al hidrogenatorului în raport cu zgomotul de fond,
- oportunitatea realizării unui hidrogenator cu grad de silențiozitate ridicat, sau utilizării capotelor de izolare acustică,
- efortul economic.

De la sursele de producere a componentelor de zgomot undele sonore parcurg diferite căi până ajung la organul auditiv. Schema surselor de producere a componentelor de zgomot la hidrogenatoare este prezentată în fig.35, iar schema de transmitere a zgomotului de la surse la mediul ambiant este prezentată în fig.36. S-a stabilit că zgomotul se transmite pe două căi și anume ca:

- zgomot aerian,
- zgomot structural,

așa cum se arată și în fig.36. În interiorul încăperii de funcționare a hidrogenatoarelor, unda sonoră produsă de sursă ajunge la organul auditiv pe trei căi, indicate schematic în fig.37, după cum urmează:

- (1) - unda sonoră directă transmisă prin aer, denumită și sunet aerian,
- (2) - unda sonoră reflectată, rezultată din sunetul aerian direct reflectat de pardosă, plafon sau pereții reflectanți sau sunet reflectat,
- (3) - unda sonoră secundară rezultată din vibrațiile mecanice ale hidrogenatorului transmise nemijlocit prin structura solidă, denumită sunet structural.

Pentru a putea stabili măsurile menite să contribuie la reducerea nivelului de zgomot este necesar să fie examinate componentele de zgomot sub aspectul cauzal și al proprietăților sale fizice, prezentate în capitolele anterioare. De asemenea trebuie examinate traseul pe care se transmite zgomotul de la surse la organul auditiv, precum și proprietățile vibroacustice ale traseului, constituit din subsambele hidrogenatorului.

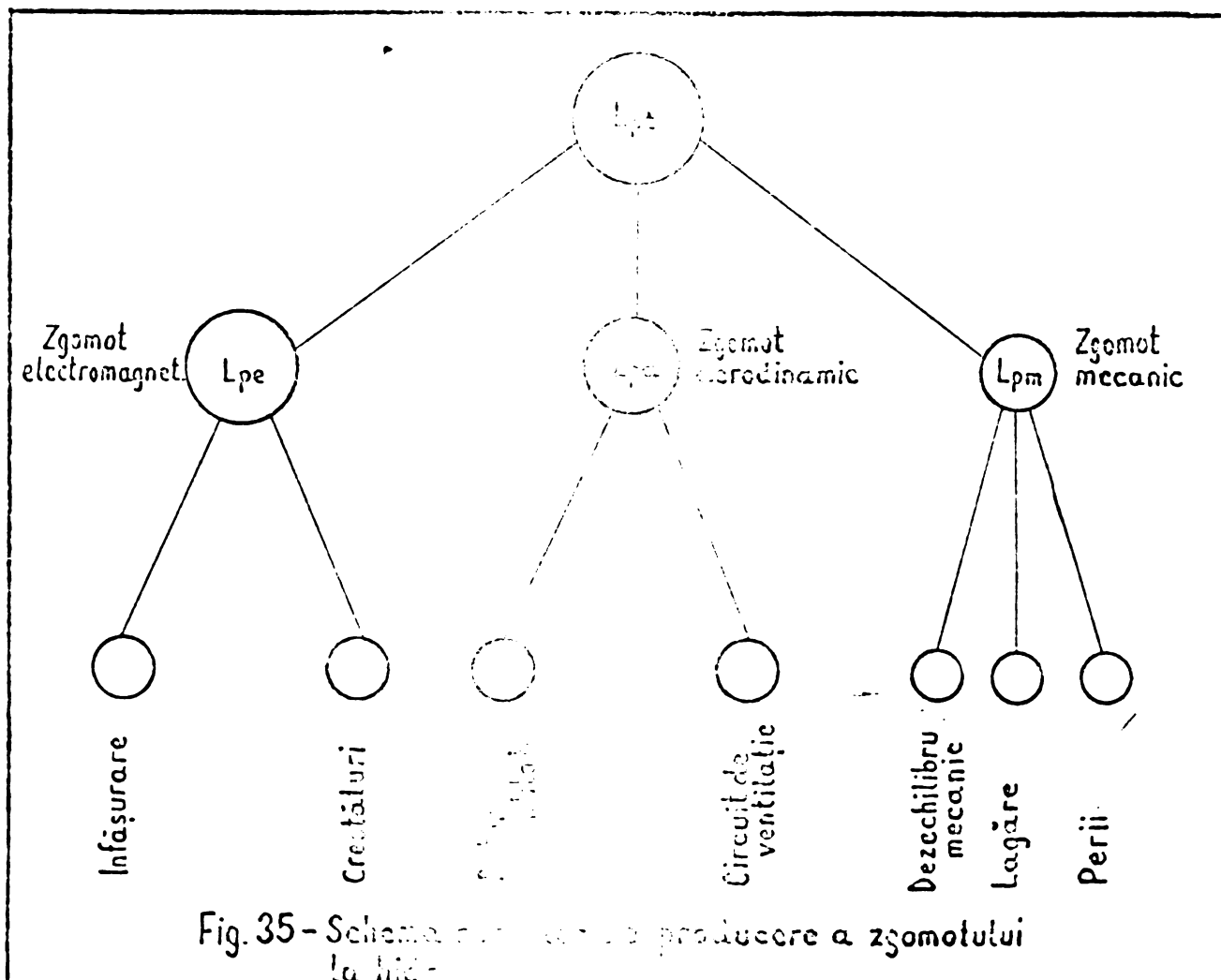


Fig. 35 - Schema clasificării și producere a zgomotului la hid-

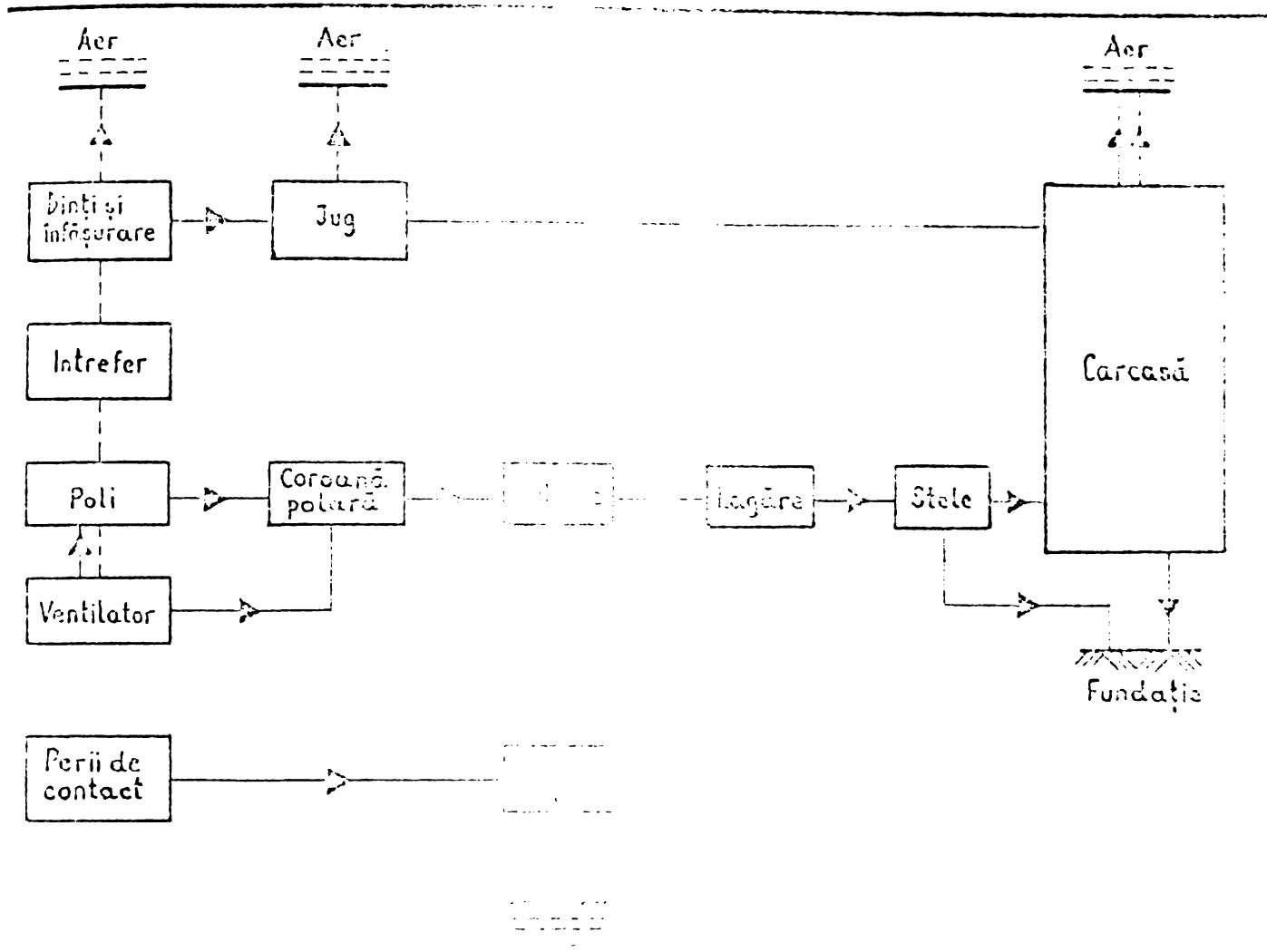


Fig. 36 - Schema de tar  
de functionare

De la surse, in spatiul  
zgomot aerian.

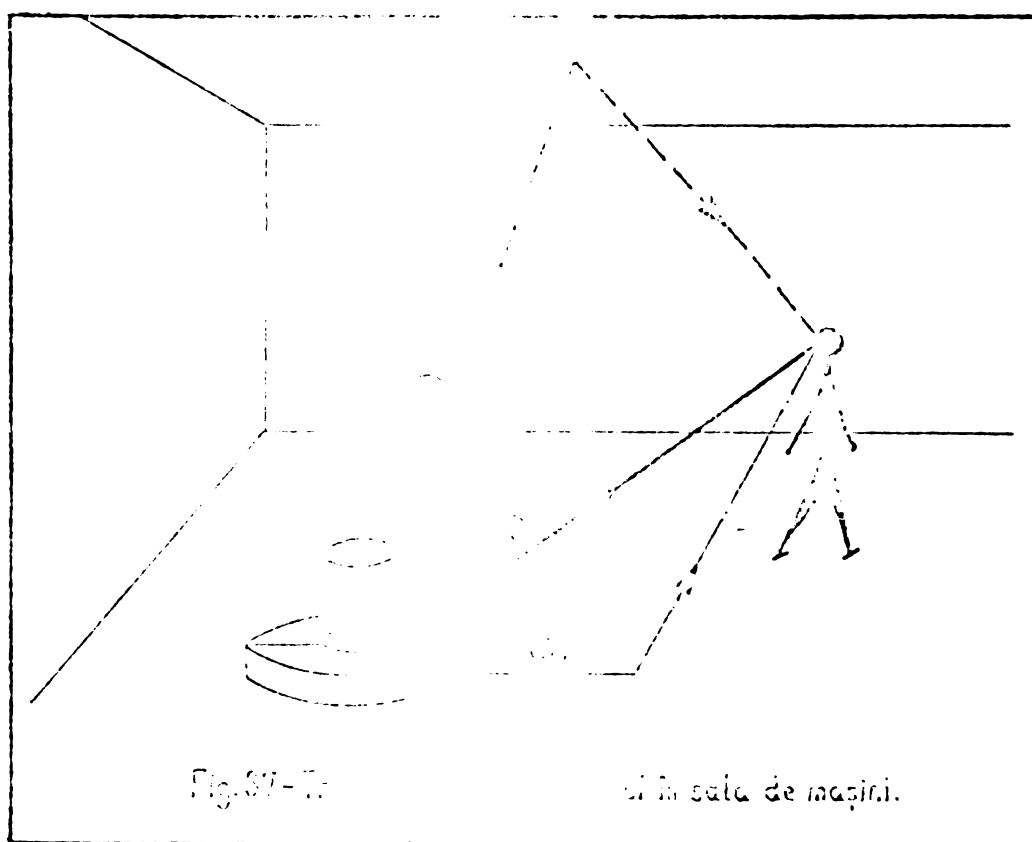


Fig. 37 - ...

si in sala de masini.

Ca urmare reducerea nivelului de zgomot se poate efectua prin următoarele două metode:

1. - reducerea nivelului de zgomot al surselor, acționând asupra cauzelor primare,
2. - majorarea rezistenței acustice pe circuitul de transmitere a zgomotului.

În cele ce urmează se vor examina măsurile concrete pentru fiecare metodă în parte.

#### 4.1 - Reducerea nivelului de zgomot al surselor

Este cea mai eficientă și economică măsură, care se poate aplica din faza de proiectare a hidrogeneratorului. Se bazează pe influențarea favorabilă a factorilor, care au pondere în formarea surselor de zgomot, după cum urmează:

##### 4.1.1 - Zgomotul electromagnetic

- Caracteristicile vibroacustice cele mai favorabile se obțin pentru înfășurările simetrice și cu  $q = \text{întreg}$ .
- Înlăturarea asimetriilor din circuitul magnetic și electric prin alegerea schemei de bobinaj optime.
- În cazul înfășurărilor fracționare schema de bobinaj a statorului se va elabora astfel încât suma vectorială a TMM pentru armonicile fracționare să nu depășească valorile recomandate pentru  $K_{\gamma_0} \text{ rel. (108)}$ .
- În cazul gradului de fracționare  $c/d$  ridicat, dar cu  $c$  și  $d$  de valoare mică, înfășurarea de amortizare va avea dispersie mică.
- Reducerea mărimii forțelor magnetice radiale de ordin scăzut prin reducerea inducției din întrefier.
- Pentru numărul de ordine al forțelor radiale  $r = \text{minim}$  se vor trasa forțele magnetice radiale specifice pentru stator, respectiv pentru poli în funcție de coefi-

- cientul de acoperire polară  $\alpha_i$ . Se va determina  $\alpha_i$  optim pentru care aceste forțe producătoare de zgomot electromagnetic sînt nule, sau minime.
- Se recomandă ca arcul polar ideal  $b_i$  să fie un multiplu al pasului creștăturilor statorului.
  - Reducerea amplitudinii vibrației fierului activ al statorului prin majorarea înălțimii jugului statorului.
  - Se vor determina frecvențele proprii de oscilații ale fierului activ al statorului și a carcasei, evitîndu-se fenomenul de rezonanță cu frecvențele undelor de forță magnetice radiale determinate de armonicele superioare sau fracționare. Se vor micșora coeficienții dinamici *ka precizați la pg. 58.*
  - Raportul  $b_c/\delta$  dintre lățimea creștăturii și întrefier va avea valori cît mai mici.

#### 4.1.2. - Zgomotul aerodinamic

- Debitul aerului de răcire va fi cel strict necesar pentru asigurarea unei răciri corespunzătoare limitelor de încălzire prescrise; orice rezervă de debit conduce la creșterea nivelului de zgomot aerodinamic.
- Asigurarea căderii de presiune minimă în circuitul de ventilație prin realizarea secțiunilor suficiente în canalele de ventilație astfel încît viteza de circulație a aerului să nu depășească 20-30 m/sec., iar constanta aerodinamică să fie cît mai mică.
- Puterea acustică, respectiv nivelul de zgomot al ventilatorului, pot fi reduse prin micșorarea diametrului exterior.
- Asigurarea randamentului maxim pentru ventilator prin realizarea pierderilor minime, care corespund pentru  $d_2^7 \cdot n^6 = \text{minim}$ , în care  $d_2$  este diametrul exterior al ventilatorului, iar  $n$  este turația.

- Alegerea judicioasă a formei geometrice a ventilatorului în funcție de turația specifică, conform indicațiilor din capitolul 2.2.
- Asigurarea scurgerii aerului cât mai apropiat de regimul laminar, prin stabilirea vitezei aerului cât mai constantă în fiecare punct din circuitul de ventilație. Curgerea turbulentă devine o sursă de zgomot aerodinamic.
- Alegerea judicioasă a amplasării obstacolelor în circuitul de ventilație și asigurarea unei forme aerodinamice, precum și asigurarea unor spații suficiente între diametrul exterior al ventilatorului și scuturi, conduc la dispariția sunetelor pure.
- Deplasarea spectrului de zgomot în domeniul frecvențelor joase.
- Eliminarea posibilităților de recirculare a aerului în jurul rotorului sau al ventilatorului.
- Reducerea surselor de formare a turbionilor prin desprinderea stratului limită.

#### 4.1.3 - Zgomotul mecanic

- Zgomotul lagărelor poate fi redus prin alegerea judicioasă a grosimii peliculei de ulei și a jocului dintre butuc și segmenti în funcție de încălzire, pentru care corespund pierderi minime în lagăre.
- Asigurarea ungerii optime a lagărelor prin alegerea uleiului cel mai potrivit în funcție de viteza periferică a lagărului.
- Zgomotul periiilor poate fi ameliorat prin următoarele măsuri:
  - densitate de curent și tensiune de contact corespunzătoare.
  - materiale corespunzătoare pentru perie și inele de contact .
  - calitatea suprafețelor de contact .

- jocuri minime între perie și suportul de perie.
- caracteristică elastică corespunzătoare pentru arcuri.

#### 4.2. Majorarea rezistenței acustice pe circuitul de transmitere a zgomotului

##### 4.2.1 - Zgomotul structural

Zgomotul structural este determinant în stabilirea nivelului de zgomot total al hidrogenatoarelor, iar producerea și transmiterea sa poate fi determinată pe baza schemei din fig.38.

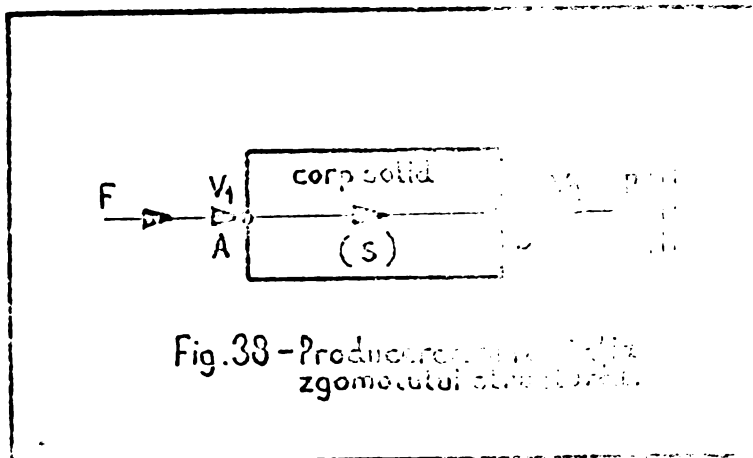


Fig.38 - Producerea și transmiterea zgomotului structural.

Zgomotul structural apare într-un corp solid prin acțiunea unei forțe alternative  $F$  în punctul  $A$ , unde determină vibrații mecanice de viteză  $v_1$ , care se transmit prin corpul solid pînă la suprafața exterioară  $S$ , iar în punctul  $B$  are loc radiația sonoră sub formă de zgomot, avînd vi-

teza  $v_2$ , care determină presiunea acustică  $p$ .

Puterea acustică a zgomotului structural este:

$$P = \rho \cdot c \frac{v^2}{2} S \psi_a \quad [W] \quad (172)$$

unde:

- $\rho$  - densitatea aerului
- $c$  - viteza sunetului în aer
- $S$  - suprafața laterală exterioară a corpului solid
- $\psi_a$  - factorul de radiație.

Amplitudinea vibrației conform relației (33) este:

$$v = \omega \cdot \xi$$



Pentru  $F = \text{const.}$  viteza depinde de impedanța mecanică, adică:

$$v_1 = \frac{F}{Z_m} \quad (174)$$

În punctul B de radiație a energiei acustice, corpul are o vibrație a cărei viteză este caracterizată prin factorul de transmitere mecanică:

$$M = \frac{v_2}{v_1} \quad (175)$$

care determină o presiune acustică în mediul înconjurător ce se poate calcula cu ajutorul relației:

$$p = \frac{F}{Z_m} M \cdot \varphi_t = v_1 \frac{v_2}{v_1} \varphi_t = v_2 \cdot \varphi_t \quad (176)$$

unde:

$M = \frac{v_2}{v_1}$ , este factorul de transport mecanic

$\varphi_t = \frac{p}{v_2}$ , este funcțiunea de transfer mecano-acustică.

Din relațiile (172) și (176) rezultă că măsurile de bază pentru reducerea zgomotului structural sînt:

- putere acustică cît mai mică;
- presiune acustică cît mai mică, realizabilă prin:
  - forța aplicată  $F$  să fie cît mai mică, iar armonicele ei să nu aibă frecvențe care să coincidă cu frecvența proprie de oscilație a corpului solid;
  - impedanța mecanică a corpului solid să fie cît mai mare;
  - transmiterea zgomotului structural prin corp, de la punctul de aplicație la cel de radiație, caracterizată prin factorul  $M$ , să fie cît mai îngreunată deci  $M$  cît mai mic, ceea ce se realizează prin utilizarea materialelor vibromortizare;

- radiație sonoră cât mai mică, realizabilă prin micșorarea suprafeței laterale de radiație  $S$  și a vitezei  $v_2$ .

Hidrogenatoarele verticale, după specificul construcției lor, prezentat în fig.39, sînt montate pe fundație, avînd statorul închis într-un cilindru de beton, care uneori este căptușit cu tablă subțire.

În acest mod, principalele două surse de zgomot electromagnetic și aerodinamic, sînt închise în cilindrul de beton, de unde zgomotul pătrunde în sala de mașini, în principal ca zgomot structural prin blocul de fundație și placa de acoperire, și aerian prin suprastructură.

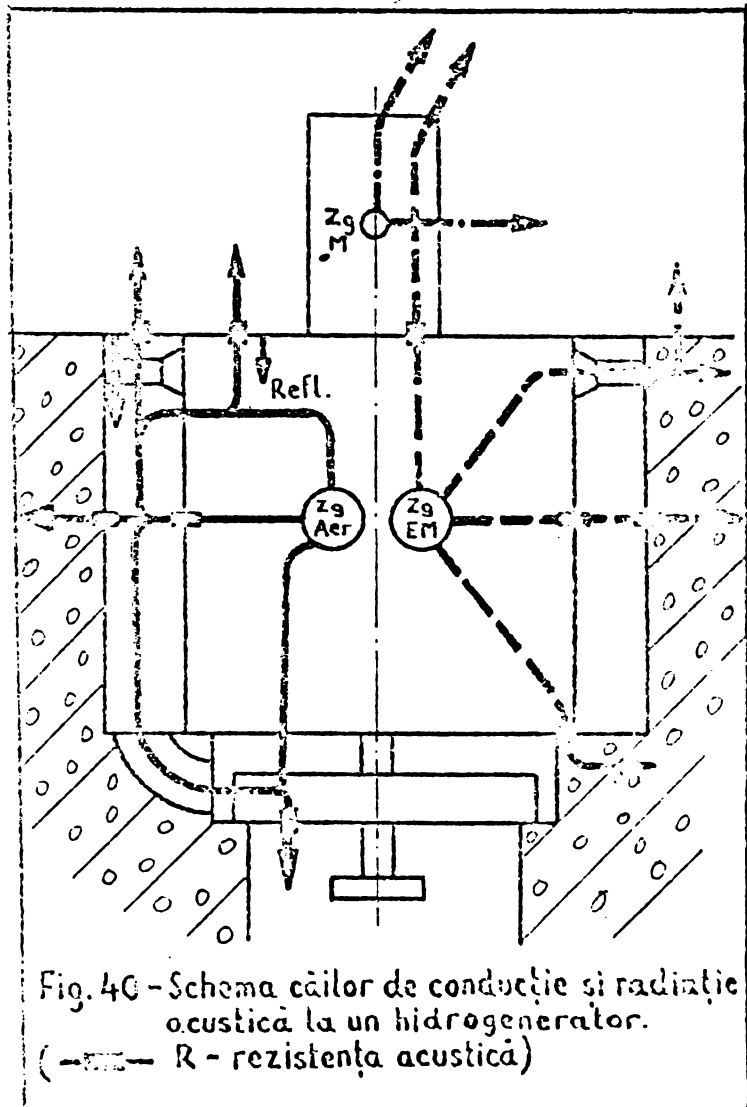
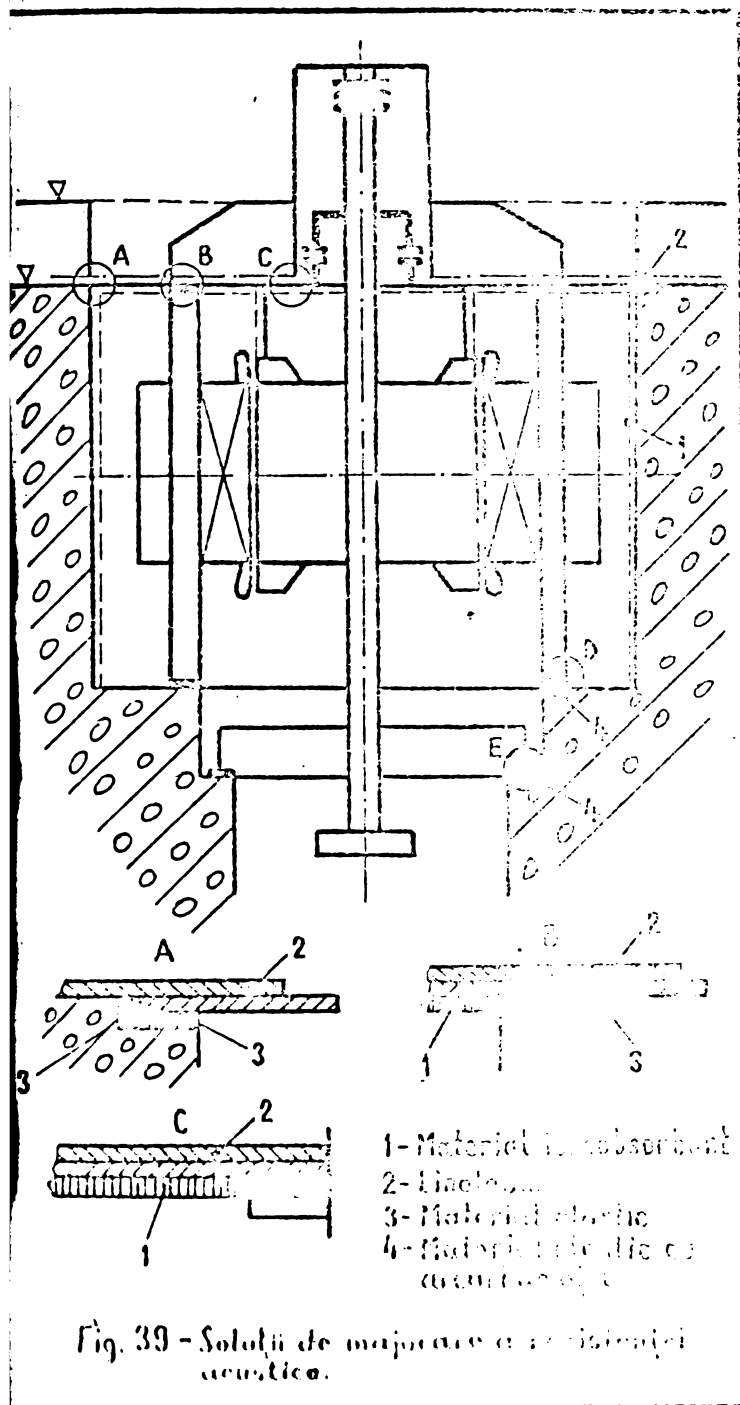
La rîndul său cilindrul de beton, este din punct de vedere acustic o cameră de reverberație cu excelente calități de reflectare și amplificare a zgomotului.

Cea de a treia sursă constînd din zgomotul mecanic, produs de lagăre și perile de contact, este amplasată în sala de mașini în cadrul unei construcții protejate.

La hidrogenatoarele cu turație ridicată predomină zgomotul aerodinamic, în timp ce la hidrogenatoarele lente predomină zgomotul electromagnetic, dar uneori și zgomotul aerodinamic are o pondere apreciabilă.

Dacă statorul din punct de vedere al vibrațiilor nu este în domeniul de rezonanță, atunci majorarea rezistenței de conducție acustică între fierul activ considerat ca sursă și suprafața laterală exterioară a hidrogenatorului, reprezintă o siguranță suplimentară contra creșterii nivelului de zgomot. Căile de conducție și radiație acustică la un hidrogenator vertical sînt prezentate schematic în fig.40, unde sînt marcate cu  $R$  rezistențele acustice de trecere către exterior.

Majorarea rezistenței acustice se realizează în principiu prin reducerea cuplajului mecanic dintre sursă și structură și prin modificarea structurii, utilizînd următoarele soluții constructive:



- introducerea unui strat de material elastic (cauciuc, moltopren) între placa de acoperire și suporturi (fundație, steaua superioară, lagărul superior) ca în fig. 39 - A, B, C.
- căptușirea suprafeței interioare a plăcii de acoperire cu un strat de material fonoabsorbant, care să fie rezistent la vibrații și la circulația aerului și care să nu fie inflamabil (vată de piatră)
- căptușirea interioară a cilindrului de beton

cu același material fonoabsorbant sau cu blocuri cu goluri sau plăci canelate din beton autoclavizat

- în sala de mașini se recomandă un strat de linoleum peste placa de acoperire
- introducerea unui strat de material elastic sau arcuri de oțel între carcasă, steaua inferioară și fundație, ca în fig.39 - D, E.

#### 4.2.2 - Radiația zgomotului

Pentru o distribuție dată a vibrațiilor pe suprafața laterală a hidrogenatorului, radiația zgomotului depinde de mărimea mașinii, de lungimea de undă aeriană, de componentele de frecvență și de proprietățile acustice ale spațiului în care funcționează. Ca urmare, reducerea nivelului de zgomot se poate efectua prin micșorarea suprafeței laterale, prin majorarea lungimilor de undă și prin mărirea volumului încăperilor de funcționare prevăzute cu suprafețe nereflectante.

O altă metodă pentru reducerea radiației zgomotului constă în adoptarea unei capote care să închidă suprastructura radiantă a hidrogenatorului din sala de mașini, dar care să permită supravegherea vizuală și accesul ușor în timpul exploatării. Capota se poate executa din tablă subțire de 1-2 mm și poate fi necăptușită sau căptușită în interior cu un material fonoabsorbant, caz în care efectul este mai pronunțat. Față de zgomotul structural, trebuie izolată cu ajutorul unui material elastic. Reducerea zgomotului cu ajutorul calotei este rezultatul celor două efecte opuse și se poate exprima prin relația:

$$\Delta L = A - R_a \quad [dB] \quad (177)$$

unde:

A - amortizarea sau reducerea zgomotului la străbaterea tablei ca urmare a inerției masei;

$R_a$  - retenția acustică, determinată de gradul mediu de absorbție sonoră a suprafeței interioare.

Amortizarea unei plăci plate, în domeniul de frecvență 300 ÷ 3000 Hz, se poate exprima [18] cu ajutorul relației experimentale:

$$A = 13 (1 + \log M_1) \quad [\text{dB}] \quad (178)$$

unde  $M_1$  este masa pentru 1 m<sup>2</sup> de tablă.

Din această relație rezultă că pereții groși pentru capotă nu sînt economici.

Din relația (177) rezultă că grosimea peretului de tablă trebuie astfel aleasă, ca  $A > R_a$  pentru a obține  $\Delta L > 0$ .

Pereții netezi de tablă produc o scădere a amortizării pentru frecvențele zgomotelor cuprinse în domeniul de frecvență 3000 ÷ 12000 Hz, pentru table de grosime 4-1 mm.

Retenția sunetului ia naștere prin reflecția de către suprafața interioară a capotei, a sunetului ieșit din hidrogenerator. Din această cauză, în interiorul capotei intensitatea zgomotului va crește. Retenția acustică se poate determina [18] cu relația experimentală:

$$R_a = 10 \log \frac{1}{a} \quad [\text{dB}] \quad (179)$$

unde  $a$  este absorbția acustică a suprafeței interioare.

Izolarea interioară a capotei are un efect mai bun pentru reducerea nivelului de zgomot, iar retenția sunetului va fi micșorată prin creșterea coeficientului de absorbție sonoră.

În cazul ideal:

$$a = 1 \quad R_a = 0 \quad \Delta L = A$$

Acest caz se poate realiza prin căptușirea suprafeței interioare a capotei cu un material fonoabsorbant corespunzător. Materialele fonoabsorbante cunoscute în prezent, de structură fibroasă, cunoscute sub denumirea de lână de piatră trebuie să satisfacă condițiile de funcționare ale hidrogenatoarelor (trepidații, circulația și frecarea aerului, ignifuge), care absorb sunetul într-un domeniu larg de frecvențe, au o densitate foarte mică  $\rho < 100 \text{ kg/m}^3$  și se adaptează rezistenței undei sonore de aer de  $\rho_c = 41.000 \text{ kg/m}^2 \cdot \text{s}$  și trebuie să fie cât mai lipsite de reflecții.

În stadiu de laborator, la Siemens s-a experimentat cu un strat realizat din lână de piatră învelit cu o folie sintetică subțire, care au fost lipite pe suprafața interioară a capotei sau a scuturilor mașinilor electrice orizontale și care au fost protejate cu o plasă de sîrmă subțire. Astfel în cazul unui strat de 50 mm grosime absorbția a fost o bandă lată de 400 Hz. În cazul unei comutatoare de 3600 rot/min adaptarea unei capote căptușită cu această soluție a condus la scăderea nivelului de zgomot de la 108 Foni la 69 Foni, iar în cazul unui hidrogenator vertical de 44 MW nivelul de zgomot a scăzut de la 85 Foni la 70 Foni. În perspectivă se prevede extinderea aplicării acestui procedeu la mașini electrice de mare putere, avînd răcire cu aer.

## 5. MASURAREA NIVELULUI DE ZGOMOT SI VIBRATII LA HIDROGENERATOARE

### 5.1. - Zgomotul

#### 5.1.1 - Nivelul de presiune mediu măsurat

Zgomotul hidrogenatoarelor determinat pe bază de măsurători este de fapt media valorilor măsurate. Pentru a putea aprecia și interpreta acest zgomot se impune stabilirea unor criterii obiective și a unei metodologii de măsurare.

Până nu demult în unele țări printre care Germania și Elveția, zgomotul a fost determinat cu ajutorul mărimii denumită „intensitatea sunetului”, având ca unitate de măsură „Fonul”.

În prezent, zgomotul este determinat aproape în mod generalizat cu ajutorul mărimii denumită „nivel de presiune acustică”, având ca unitate de măsură „decibelul”.

Comitetul tehnic al ISO a hotărât să aducă în plan mărimea denumită „puterea acustică a sursei”, având ca unitate de măsură „wattul”, pentru care însă mai este necesară o informație suplimentară cu privire la poziția punctului de măsură față de mijlocul mașinii, nu ca în celelalte cazuri față de suprafața laterală a mașinii.

Nivelul puterii acustice fiind independent de condițiile ambianței și de distanța față de mașină permite o apreciere obiectivă a zgomotului, cu condiția să se ia în considerare absorbția atmosferică în domeniul frecvențelor mai înalte.

Mașinile electrice foarte zgomotoase generează puteri acustice foarte mici de ordinul wattilor, dar pot determina nivele de presiune insuportabile de ordinul 120 dB. Deci zgomotul produs de mașinile electrice nu este o problemă a energiilor pierdute, ci a efectelor sale nocive asupra omului. Randamentul acustic care caracterizează zgomotul

este foarte mic, de ordinul  $10^{-8}$  ÷  $10^{-6}$ .

Ca urmare zgomotul poate fi considerat ca un domeniu al infrapresiunilor acustice, caracterizat prin microrandamente acustice și prin macroefecte nocive asupra omului.

Cîmpul acustic în care se efectuează măsurători de zgomot poate fi:

- cîmp acustic liber, deasupra unui plan reflectant, dacă diferența între nivelele medii de presiune determinate la o distanță dată de la suprafața laterală a mașinii este mai mare de 5 dB la dublarea distanței;
- cîmp acustic difuz, care are loc într-o încăpere puternic reverberantă;
- cîmp acustic semidifuz, care are loc într-o încăpere semireverberantă, dacă diferența între nivelele medii de presiune determinate la o distanță dată de suprafața laterală a mașinii este mai mică sau egală cu 1 dB.

În general măsurătorile de zgomot la hidrogenatoare se efectuează în cîmp acustic liber, în care valorile determinate sînt dependente de poziția punctului de măsură față de hidrogenator.

Camera de reverberație posedă o capacitate de reflexie de 100 %, într-un domeniu mare de frecvențe și prezintă avantajul că în ea se poate determina bine puterea acustică cu un număr mic de măsurători.

În prezent nivelul presiunii acustice rămîne mărirea de bază pentru aprecierea de către om a zgomotului produs de un hidrogenator, într-un punct dat.

Intensitatea sunetului într-un cîmp dat este dependentă de variația presiunii acustice în timp, care aplicată unui microfon amplasat în punctul de măsură, se transformă la bornele acestuia în tensiune electrică proporțională cu presiunea.



Distanța de la punctul de măsură la sursa de zgomot poate fi definită în raport cu suprafața exterioară a hidrogenatorului sau cu centrul său și poate fi exprimată în unități absolute sau relative. În cazul hidrogenatoarelor, datorită dimensiunilor mari, distanța de la punctul de măsură trebuie considerată față de suprafața laterală exterioară.

Pentru a putea compara rezultatele obținute la diferite hidrogenatoare, această distanță se adoptă uzual, după normele DIN 45632 și NF C51-100, la 1 m.

După ISO - TC 43 se recomandă următoarele distanțe de măsură:

R = r = 1 m ..... mașini mici, de uz casnic  
etc.

R = 3 m ..... mașini mijlocii

R = 10 m ..... mașini mari, agregate

Nivelul de zgomot mediu măsurat la distanța  $r = 1$  m notat cu  $L_{pr}$ , se poate recalcula [54] pentru celelalte distanțe, cu ajutorul relației:

$$L_{pR} = L_{pr} - \frac{10K}{3} \log \frac{R}{r} \quad [dB] \quad (180)$$

unde  $K = 6 \div 4$ . De asemenea se prevede că pentru măsurători de garanții se vor preciza în mod obligatoriu nivelele de zgomot în dB(A) pentru  $R = 1, 3, 10$  m.

În cazul când corpul geometric rezultat din suprafața laterală determinată de totalitatea punctelor de măsură, poate fi asimilat cu o semisferă echivalentă, care are expresia:

$$S = 2\pi r_s^2 \quad (181)$$

raza semisferei echivalente va fi:

$$r_s = \sqrt{\frac{S}{2\pi}} \quad (182)$$

În punctele de măsură se determină valorile efective ale nivelelor de presiune acustică, care depind de natura câmpului acustic.

Nivelul mediu de zgomot al unui hidrogenerator, în mod riguros este media pătratică a valorilor presiunilor acustice măsurate în toate punctele. În general măsurătorile se efectuează în câmp acustic liber, care este omogen, în care caz nivelul mediu de zgomot al hidrogeneratorului, fără eroare inadmisibilă, poate fi considerat media aritmetică a nivelelor de presiune măsurate, adică:

$$L_{p\text{ med}} = 10 \log \frac{1}{n} \sum_i (p_{ef}^2)_i \approx \frac{1}{n} \sum (L_p)_i \quad [\text{dB}] \quad (183)$$

Ca urmare nivelul de zgomot global al unui hidrogenerator este perfect determinat prin cele două mărimi și anume  $L_{p\text{ med}}$  și  $r_s$ .

Puterea acustică a unei surse, conform relației (5) are expresia:

$$P = I \cdot S \quad (184)$$

iar nivelul de putere acustică devine:

$$L_P = 10 \log \frac{P}{P_0} = 10 \log \left[ \left( \frac{I}{I_0} \right)_{\text{med}} \cdot \frac{S}{S_0} \right] \quad (185)$$

Tinând seama de relația (4), în cazul valorilor efective determinate prin măsurători, rezultă:

$$\left( \frac{I}{I_0} \right)_{\text{med}} = \left( \frac{p_{ef}^2}{\text{f.c.} \cdot 10^{-12}} \right)_{\text{med}} \quad (186)$$

care introdusă în relația (185) se obține:

$$\begin{aligned} L_P &= 10 \log \left[ \left( \frac{p_{ef}^2}{\text{f.c.} \cdot 10^{-12}} \right) \cdot \frac{S}{S_0} \right] = 10 \log \left( \frac{p_{ef}^2}{\text{f.c.} \cdot 10^{-12}} \right) + 10 \log \frac{S}{S_0} = \\ &= L_{p\text{ med}} + 10 \log \frac{S}{S_0} \quad [\text{dB}] \quad (187) \end{aligned}$$

unde:

$$I_0 = 10^{-12} \text{ w/m}^2$$

$$P_0 = 10^{-12} \text{ w după ISO, sau } 10^{-13} \text{ w după C51-100}$$

$$S_0 = 1 \text{ m}^2, \text{ este suprafața de referință.}$$

Ca urmare, nivelul de putere acustică în [dB] al unui hidrogenerator este egal cu nivelul de presiune sau de zgomot mediu măsurat, la care se adaugă un termen ce depinde de suprafața laterală determinată de punctele de măsură.

Pentru o altă valoare a razei  $r_g = R$ , relația (183) devine:

$$L_{p_{med_R}} = L_{p_{med}} + 10 \log \frac{S}{S_R} = L_{p_{med}} + 20 \log \frac{r_g}{R} \quad (188)$$

$$\text{unde } S_R = K\pi R^2$$

În procesul de radiație sonoră de către suprafețele laterale mari ale hidrogeneratoarelor apare și fenomenul de interferență a undelor sonore în cadrul câmpului acustic prin care sunetele radiate dispar în unele locuri, iar în altele locuri sînt întărite. Acest fenomen se explică prin pozițiile de fază diferite ale componentelor izolate ale presiunii sonore. Dar radiația sonoră mai depinde în mare măsură și de proprietățile acustice ale spațiului în care funcționează, care poate fi nereflectant sau reflectant, obținîndu-se astfel valori mai ridicate pentru presiunea sonoră în spațiul reflectant decît în cel nereflectant.

Pentru spațiul real, scăderea nivelului de presiune acustică se poate determina cu ajutorul relației (29), stabilită pentru cazul surselor mici, dar care după literatura de specialitate se poate folosi și în cazul radiatoarelor sonore mari, adică:

$$L_p = L_p + 10 \log \left( \frac{\Psi_d}{\kappa \pi r^2} + \frac{4}{S_a} \right) \quad [\text{dB}] \quad (189)$$

unde determinarea suprafeței de absorbție echivalentă a lo-

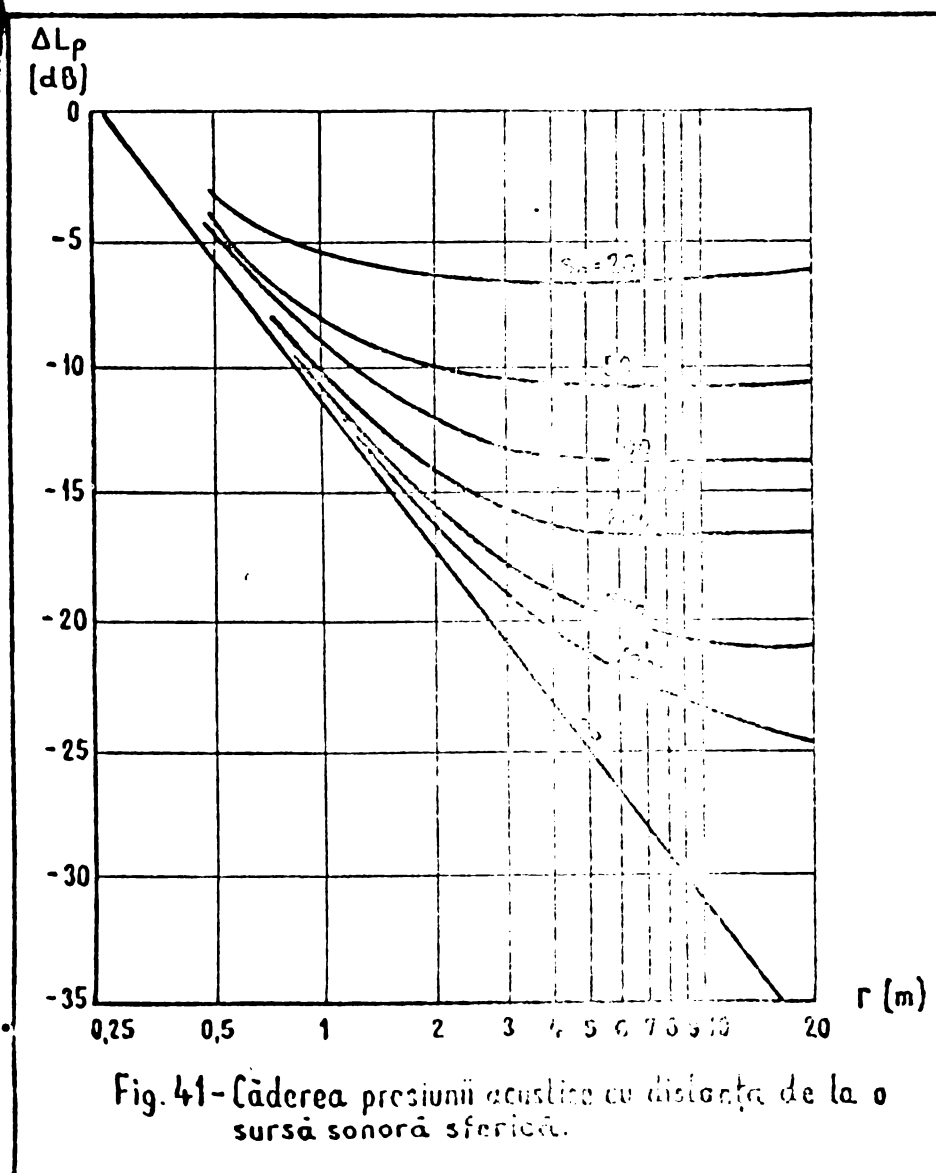
calului, care ține seama de proprietățile acustice ale acestuia se poate face [8] cu ajutorul relației:

$$S_a = \frac{F \cdot a}{1 - a} = \frac{F}{\frac{FT}{0,162 \cdot V} - 1} \quad (190)$$

unde:

- F = suprafața laterală totală a spațiului de funcționare,
- V = volumul spațiului,
- a = coeficientul de absorbție mediu al spațiului,
- T = constanta de timp de reverberație.

Cu aceste relații se pot trasa curbele din fig.41.



Cu ajutorul relației (198) se pot determina nivelul de putere acustică:

$$L_p = L_p - 10 \log \left( \frac{\varphi_d}{4\pi r^2} + \frac{4}{S_a} \right)$$

(191)

pe baza nivelului de presiune măsurat. Pentru a nu altera valorile nivelului de putere, se impune ca cel de-al doilea termen ce se scade din  $L_p$  să fie cât mai mic, ceea ce se realizează dacă  $S_a$  este mare. Acest lucru se obține dacă localul în care este ampla-

sat hidrogenatorul are dimensiuni mari.

In cazul hidrogenatoarelor acest deziderat nu se poate realiza, motiv pentru care se renunță la determinarea nivelului de putere acustică și se determină nivelul mediu al presiunii acustice măsurat la o distanță mică în jurul hidrogenatorului.

### 5.2.1 - Aparate de măsură

Singurele mărimi care se pot măsura corect sînt presiunea și frecvența undei sonore. Elementele componente ale lanțului de măsură sînt:

- microfonul
- amplificatorul
- analizorul

- Microfonul transformă presiunea sonoră în semnal electric. Se remarcă două categorii de microfoane:

- a. Microfoane pentru gradient de presiune  
Sînt sensibile la presiunea diferențială a undei sonore, deoarece membrana este atacată pe ambele fețe. Au un înalt grad de directivitate.
- b. Microfoane de presiune, avînd:
  - Tensiunea de ieșire proporțională cu viteza de oscilație, au bobină mobilă, impedanța scăzută în banda de frecvențe 50÷8000 Hz, iar sensibilitatea 20÷120 dB.
  - Tensiunea de ieșire este proporțională cu amplitudinea oscilațiilor. Sînt microfoane de capacitate, piezoelectrice, sau cu rezistență variabilă. Microfoanele de capacitate au curba de răspuns lineară în domeniul pînă la 15000 Hz și sînt folosite în măsurători de înaltă precizie.

- Amplificatorul amplifică semnalul de ieșire al microfonului în condițiile unei distorsiuni minime. Banda de

frecvențe este  $10 \div 20.000$  Hz. Deține 3 rețele normalizate de ponderare notate cu A,B,C.

- Analizatorul analizează sunetele în funcție de frecvențe, determinând spectrul nivelului de zgomot. Poate fi cu lărgime de bandă constantă sau cu bandă terțe, jumătăți sau octave. Poate fi manual sau automat, cu citiri cu înregistrare grafică sau cu înregistrare sonoră.

Din lanțul de aparate de măsură, microfonul este punctul cel mai slab deoarece permite apariția fenomenului de difracție și ca urmare valoarea măsurată depinde de gradul de incidență al undei sonore. Ținând seamă de acest fenomen, o măsurătoare se consideră bună în cadrul toleranței de 3 dB, ceea ce în mod practic corespunde cu gradul de sensibilitate diferențială a urechii.

Mărimile caracteristice într-un câmp acustic sînt totdeauna funcții simultane de timp și de spațiu. Domeniul de variație a nivelului de zgomot este mare, fiind cuprins în mod normal între  $20 \div 100$  dB.

Măsurătorile efectuate într-un punct dat prezintă evoluția presiunii acustice în funcție de timp. Pentru a avea și variația în spațiu este necesar să se măsoare presiunea în toate punctele spațiului. De asemenea trebuie exploatat câmpul acustic și în funcție de frecvență, determinînd spectrul zgomotului. Toate aceste măsurători trebuiesc efectuate în global, cu filtrele A,B,C și apoi repetate pentru toate regimurile de funcționare distincte ale hidrogenatorului.

În felul acesta rezultă un număr foarte mare de măsurători (de ordinul  $10.000$  citiri), ceea ce necesită un timp foarte îndelungat, devenind prea costisitoare.

Din acest motiv se impune stabilirea unei metode de măsurare a nivelului de zgomot la hidrogenatoare, care să conțină un număr necesar de măsurători, pe baza cărora să se poată aprecia calitățile acustice ale mașinii.

Pentru aceasta este necesar să se precizeze următoarele date:

- conturul de măsură standard
- punctele în care se determină nivelul global și spectrul zgomotului
- regimurile de probă
- rețelele corectoare utilizate la citirea nivelului de zgomot,

Ca urmare, în cele ce urmează se propune de către autor o metodă pentru identificarea și măsurarea nivelului de zgomot la hidrogenatoare.

### 5.1.3 - Metodă pentru identificarea și măsurarea nivelului de zgomot la hidrogenatoare

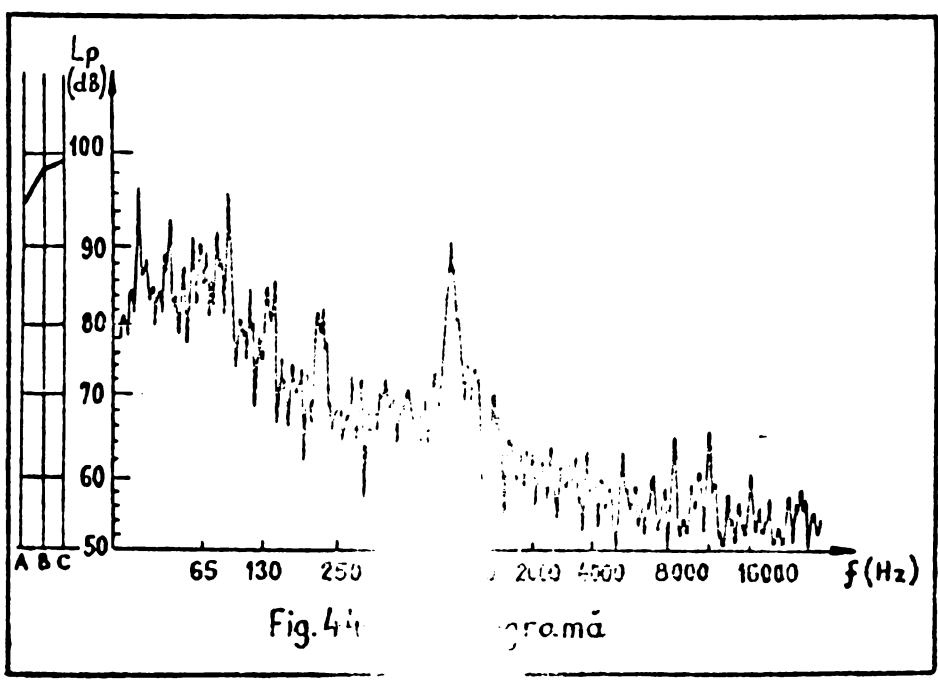
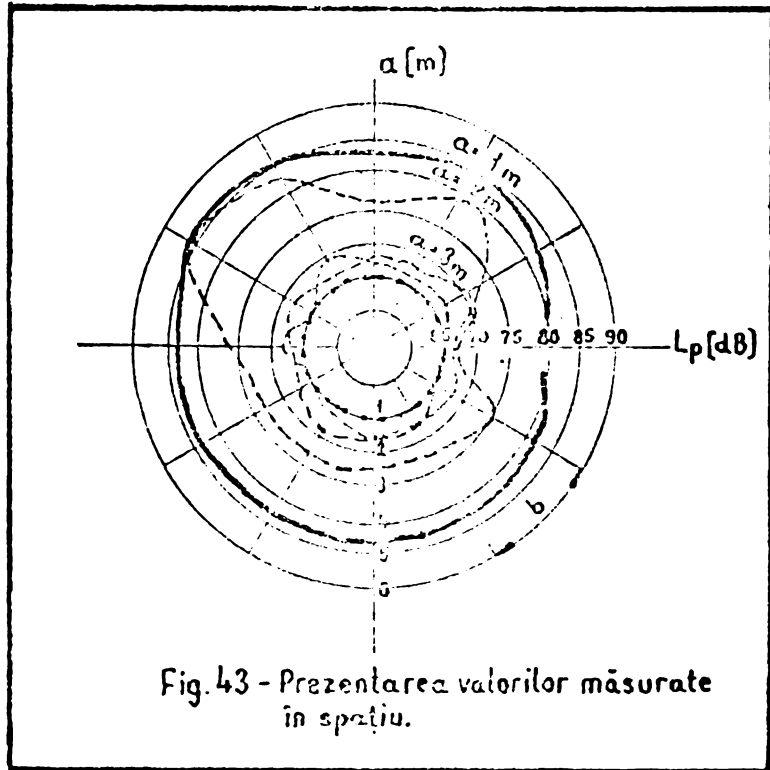
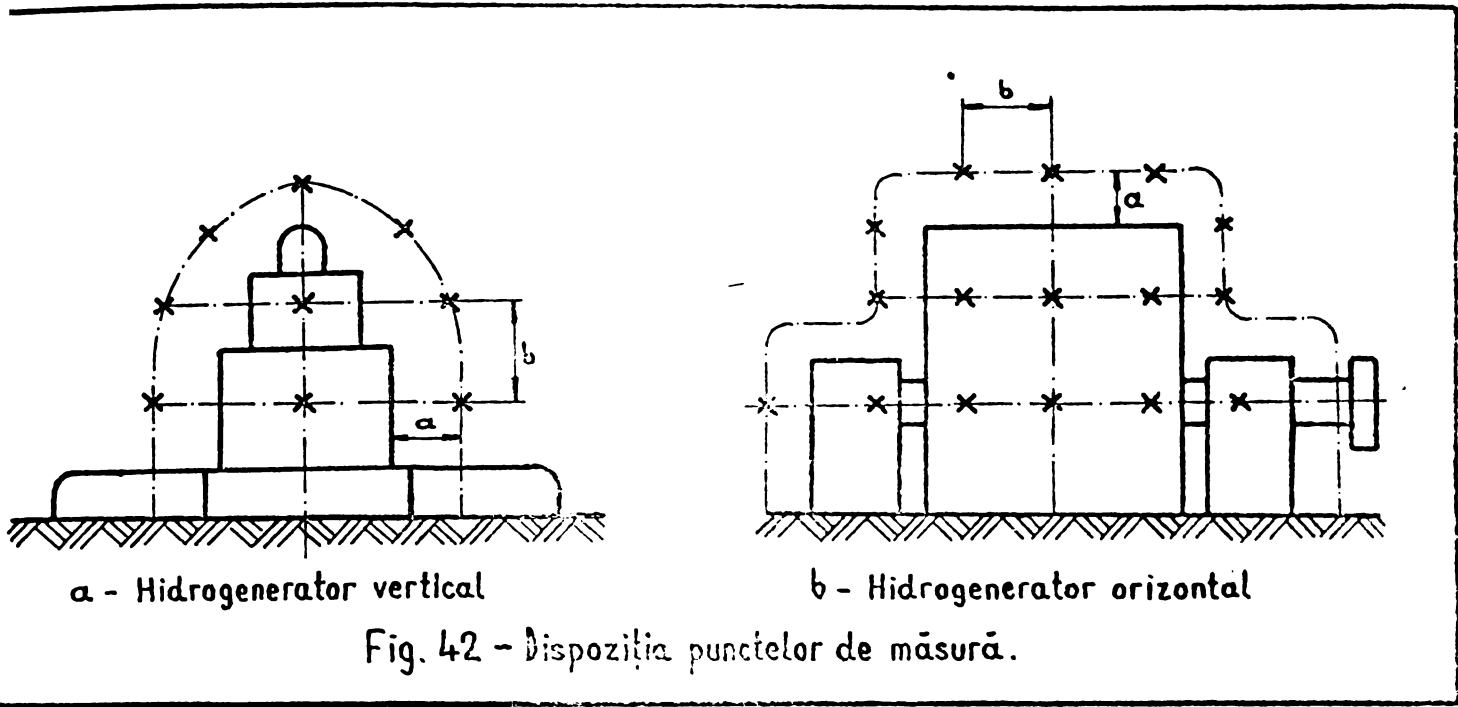
#### 5.1.3.1 - Conturul de măsură

Nivelul de zgomot al hidrogenatoarelor se măsoară numai la locul de funcționare, adică în sala de mașini a centralei hidroelectrice, pentru fiecare în parte.

În cazul hidrogenatoarelor verticale, măsurarea nivelului de zgomot în jurul statorului din interiorul cilindrului de beton nu este posibilă și nici utilă.

Conturul de măsură standard se propune să fie constituit din punctele de măsură dispuse pe o suprafață care îmbracă hidrogenatorul în sala de mașini la o distanță de  $a = 1$  m de la suprafața laterală exterioară a acestuia. Numărul total al punctelor de măsură este determinat de considerentul ca diferența de nivel de presiune acustică între două puncte consecutive să fie mai mică de 5 dB, pentru care rezultă că distanța dintre punctele consecutive este  $b = 1\frac{1}{2}$  m. Dispoziția conturului este prezentată în fig.42.

Dacă câmpul acustic este uniform și simetric măsurătorile se vor efectua numai în acele puncte în care între valorile măsurate există o diferență mai mare de 5 dB. În caz contrar măsurătorile se vor efectua în toate punctele. Prezentarea valorilor măsurate se poate face tabelar sau în coordonate polare ca în fig.43.





### 5.1.3.2 - Nivelul global și spectrul zgomotului

În toate punctele stabilite pentru măsurători se determină nivelul global de zgomot care reprezintă efectul rezultat al tuturor componentelor.

Spectrul zgomotului reprezintă valorile efective ale nivelului de presiune sonoră în funcție de frecvență, care după CEI 123-1961 este divizată în 8 benzi de octavă definite de intervalele dintre valorile de mai jos:

- 62,5 - 125 - 250 - 500 - 1000 - 2000 - 4000 - 8000 Hz

Spectrul zgomotului se determină numai în punctul de măsură în care s-a citit cel mai înalt nivel global de zgomot. Spectrogramele vor fi întocmite după modelul prezentat în fig.44. Suma acestor nivele de zgomot pe octave trebuie să coincidă cu nivelul de zgomot global, în cadrul toleranței de 1-2 dB.

Pentru determinarea explicită a zgomotului produs de hidrogenerator se va măsura în prealabil zgomotul de fond din sala de mașini, care este zgomotul produs de turbină și toate instalațiile auxiliare, hidrogeneratorul fiind în stare de repaos.

Nivelul de zgomot global și spectral, măsurat în sala de mașini, trebuie corectat cu valorile aferente zgomotului de fond. Determinarea zgomotului de fond se impune să fie cu atât mai precisă cu cât abaterea nivelelor măsurate este mai mică. Ca urmare nivelul de zgomot real produs de hidrogenerator, corectat cu zgomotul de fond, este:

$$L_G = L_T - \Delta L_p \quad [dB] \quad (192)$$

unde:

$L_T$  - zgomotul total

$L_F$  - zgomotul de fond

$\Delta L_p$  - corecție determinată de zgomotul de fond, se ia din

tab. 10.

Tabela 10 - Corecții pentru zgomotul de fond

|   |    |      |      |      |      |      |      |      |    |      |      |      |     |
|---|----|------|------|------|------|------|------|------|----|------|------|------|-----|
| diferența de nivel<br>$L_T - L_F$ [dB]    | 3  | 3,5  | 4    | 4,5  | 5    | 5,5  | 6    | 6,5  | 7  | 8    | 9    | 10   | >10 |
| corecție zgomot fond<br>$\Delta L_p$ [dB] | -3 | -2,6 | -2,2 | -1,9 | -1,7 | -1,5 | -1,3 | -1,1 | -1 | -0,8 | -0,6 | -0,4 | 0   |

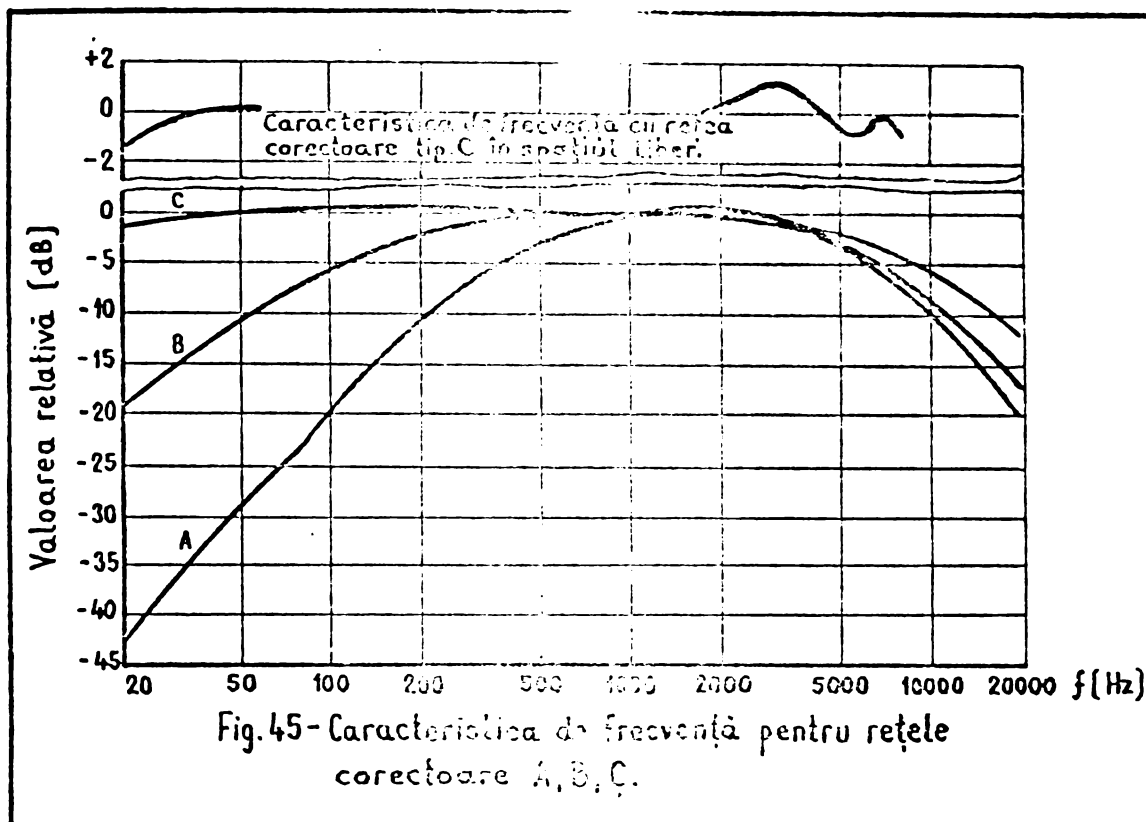
Dacă la dublarea distanței față de punctul de măsură apare o variație a nivelului de zgomot global mai mare de 4 dB atunci influența reflecției undelor sonore din spațiul de funcționare se poate neglija. Dacă însă variația este mai mare de 4 dB, valorile măsurate se vor corecta, ținând seama de influența reflecției, iar valoarea de corecție maximă s-a convenit practic să nu depășească 3 dB. Pentru determinarea valorilor de corecție se ridică curba teoretică de descreștere a presiunii sonore în funcție de distanță în câmp acustic liber, folosind o sursă de zgomot de dimensiuni mici, care produce zgomot de bandă largă. Valoarea de corecție pentru distanța dată este diferența dintre curba teoretică de descreștere în câmp liber și valoarea efectivă măsurată.

### 5.1.3.3 - Rețele corectoare

Nivelul de zgomot nu variază numai în funcție de presiune ci și în funcție de frecvență. Din această cauză aparatele de măsură se prevăd, în general, cu 3 rețele corectoare sau 3 filtre notate cu literele A, B, C ale căror caracteristici de frecvență sînt prezentate în fig.45. Acestea au rolul să facă selecția dintre frecvențele joase și cele înalte în acord cu curbele de egală senzație auditivă ale lui Fletcher - Munson.

Literatura de specialitate recomandă următoarea utilizare a rețelelor corectoare, în funcție de nivelul de zgomot:

|                  |       |   |
|------------------|-------|---|
| $L_p < 55$ dB    | ..... | A |
| $L_p = 55-85$ dB | ..... | B |
| $L_p > 85$ dB    | ..... | C |



CEI 123-1961 recomandă următoarea folosire:

$L_p = 30 \div 60$  dB ..... A  
 $L_p > 60$  dB ..... B

În prezent s-a admis în mod universal, iar ISO a recomandat ca măsurătorile de zgomot să se efectueze cu rețeaua corectoare A, iar unitatea de măsură se notează dB (A).

#### 5.1.3.4 - Regimuri de probă

Pentru efectuarea măsurătorilor de zgomot se consideră necesare următoarele regimuri de funcționare ale hidrogenatorului:

- stare de repaos
- mersul în gol neexcitat
- mersul în gol excitat
- mersul în sarcină nominală

Pentru fiecare regim de probă se determină nivelul de zgomot mediu, cu ajutorul relației (183)

#### 5.1.4 - Compararea nivelelor de zgomot ale hidrogeneratoarelor de mărimi diferite

Pentru a putea compara nivelele de zgomot ale hidrogeneratoarelor de mărimi diferite, dintre care unul mic și altul mare, care au fost măsurate la distanța de 1 m de la suprafața laterală exterioară, este necesar să se determine nivelul de zgomot echivalent al hidrogeneratorului mic în cazul când raza ar crește de la  $r$  la  $R$ , care se poate determina [56] cu relația:

$$L_R = L_r - 10 \frac{\Delta L_r}{3} \log \frac{R}{r} \quad [\text{dB}] \quad (193)$$

unde:

$L_r$  - nivelul de zgomot măsurat pentru hidrogeneratorul mic

$\Delta L_r$  - căderea nivelului de zgomot la dublarea distanței

$R, r$  - raza emisferei echivalente care conține punctele de măsurare ale zgomotului la hidrogeneratorul mare, respectiv cel mic.

#### 5.2 - Vibrațiile

Nivelul de vibrații la hidrogeneratoare poate fi determinat prin măsurarea deplasării maxime a mișcării, care reprezintă amplitudinea oscilației. Valorile cele mai ridicate ale vibrațiilor apar pe suprafața fierului activ și pe cea a lagărelor radiale. Deoarece fierul activ este constituit din segmenti de tolă fixat în penele coadă de rîndunică, care uneori are și plane de separație între care există întrefieruri, mărimea vibrațiilor diferă pe suprafața laterală a acestuia. Din acest motiv se vor selecționa acele puncte în care apar vibrațiile maxime. Ca urmare se propun de către autor următoarele puncte de măsură a vibrațiilor:

- pe suprafața exterioară a fierului activ al statorului în planul transversal de simetrie

la jumătatea fiecărui segment de tolă în mijlocul dintre două pene de fixare, precum și în zona planelor de separație - în cazul hidrogenatoarelor verticale

- pe suprafața exterioară a fierului activ al statorului în planul transversal de simetrie, în punctul cel mai de sus și în cel mai de jos - în cazul hidrogenatoarelor orizontale
- pe suprafața exterioară a carcasei statorului
- pe carcasa lagărelor radiale

Vibrațiile se vor măsura în 3 plane și anume radial, axial și tangențial. Se vor determina pentru toate regimurile de probă prevăzute la măsurarea zgomotului.

Eroarea maximă de măsurare a aparatelor nu va depăși valoarea de 0,0025 mm.

## 6. REZULTATE EXPERIMENTALE

Pentru verificarea rezultatelor teoretice obținute în prezenta lucrare, au fost efectuate măsurători de zgomot și vibrații la unele hidrogenatoare, care se pot împărți în două categorii:

- modele de hidrogenerator de putere mică, experimentate în stațiunea de cercetare a zgomotului
- hidrogenatoare aflate în exploatare curentă la unele centrale hidroelectrice din țară

Rezultatele experimentale obținute sînt prezentate în cele ce urmează.

### 6.1 - Stațiunea de cercetare a zgomotului

Experimentarea modelelor de hidrogenerator, adică a hidrogenatoarelor verticale sincrone de mică putere, cu acționare proprie într-un domeniu larg de turație, în stațiunea de cercetare a zgomotului, permite determinarea zgomotului și vibrațiilor în toate regimurile de funcționare și pentru diferiți parametri, precum și separarea componentelor de zgomot prin eliminarea surselor respective.

Aceste rezultate experimentale nu puteau fi obținute decît parțial la hidrogenatoarele aflate în exploatare.

Pentru măsurarea zgomotului produs de modelele de hidrogenerator a fost realizată o stațiune de cercetare a zgomotului, de către ICPEH în colaborare cu IPT - catedra de mașini electrice, care este amplasată în incinta IPT. Această stațiune de cercetare sub aspectul profilului și a dimensiunilor este prima și singura realizare din țară și ca urmare nu afectează paralelism în cercetare. Se compune din următoarele părți:

- camera surdă
- echipamentul electric de acționare și măsură
- modelele de hidrogenerator
- aparate de măsură

iar în vederea exterioară și dispoziția generală aînt prezente în fig.46 și 47.

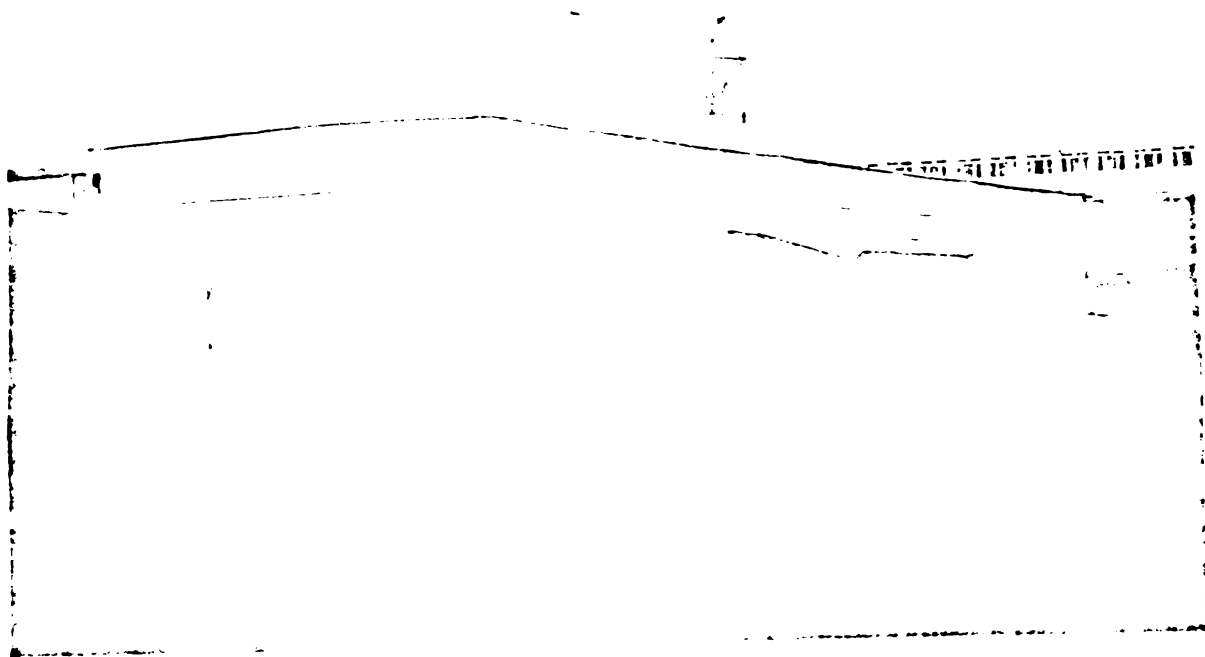


Fig.46 - Vedere exterioară a statuii de cercetare a zgomotului.

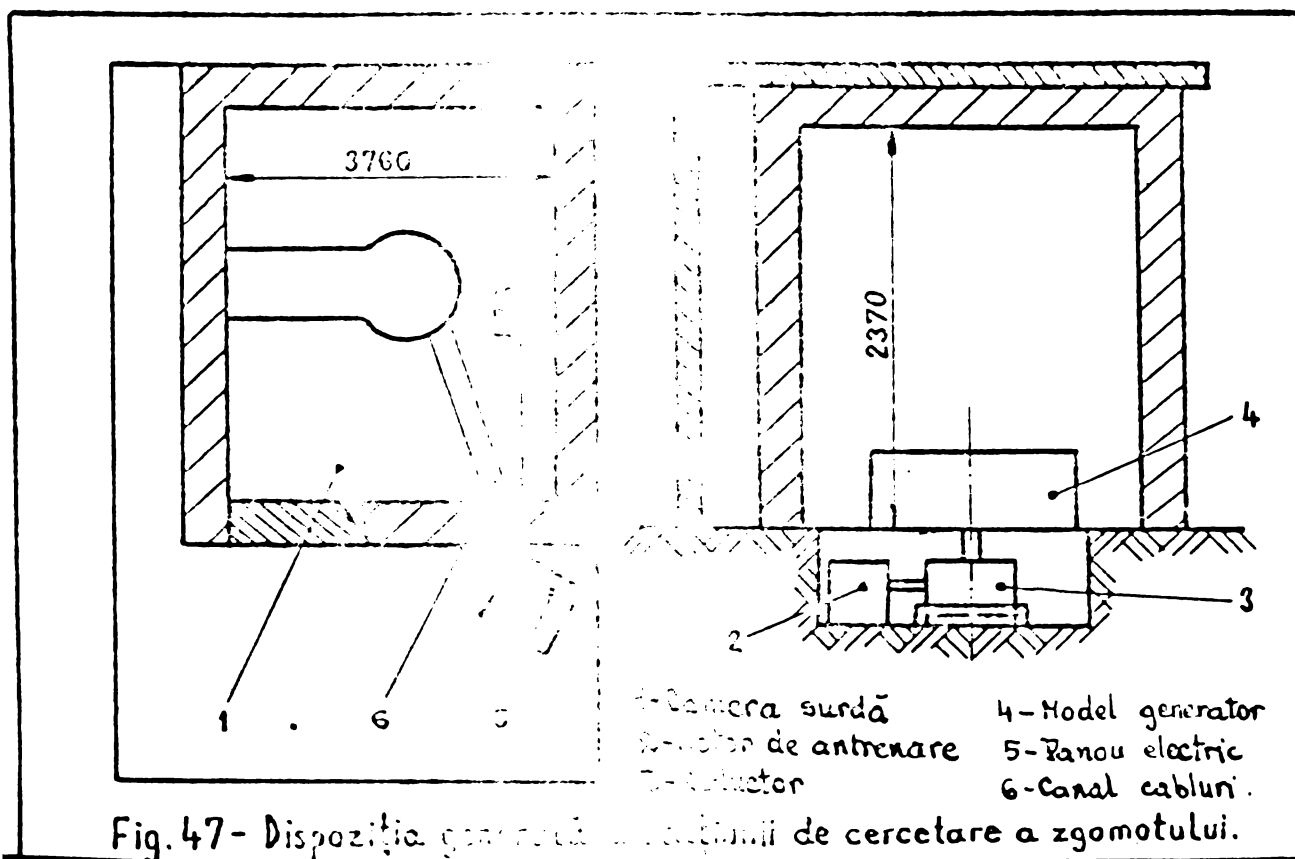


Fig.47 - Dispoziția generală a instalației de cercetare a zgomotului.

### 6.1.1 - Camera surdă

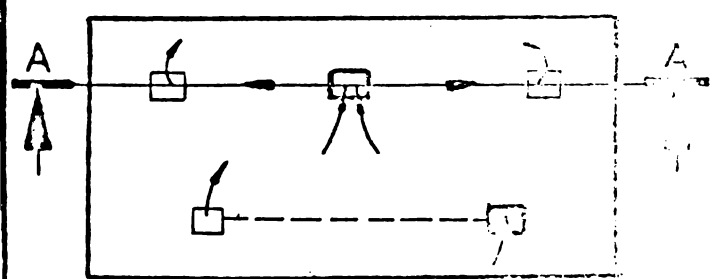
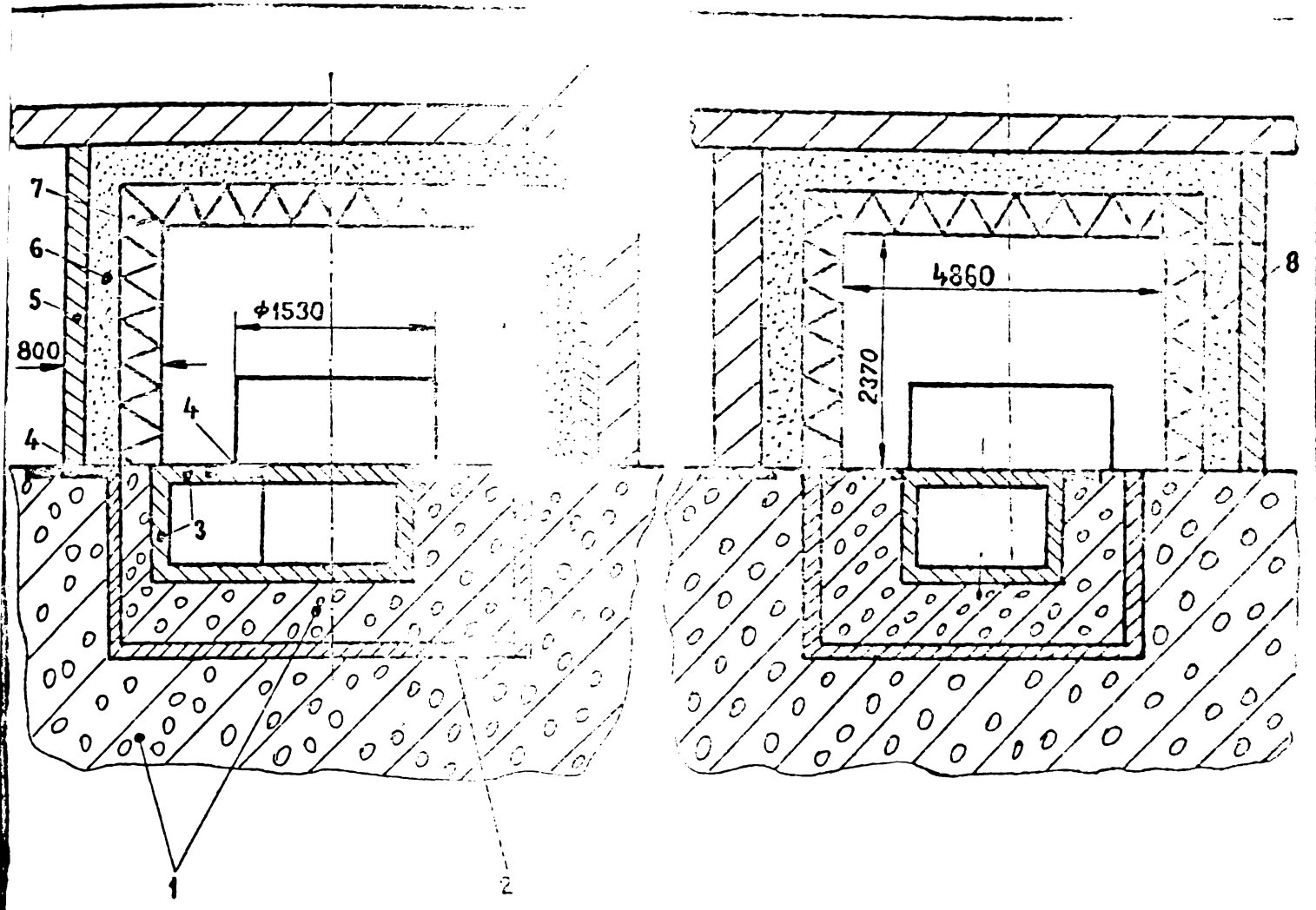
Pentru măsurarea zgomotului este necesară o încăpere specială, denumită cameră surdă, care să posede un grad scăzut de reflectare a sunetului aerian și de propagare a sunetului structural și în același timp să asigure o izolare acustică pronunțată față de zgomotul din exterior, avînd în interior un nivel de zgomot de fond cît mai scăzut posibil.

Condițiile tehnice, care au stat la baza realizării acestei camere surde, sînt:

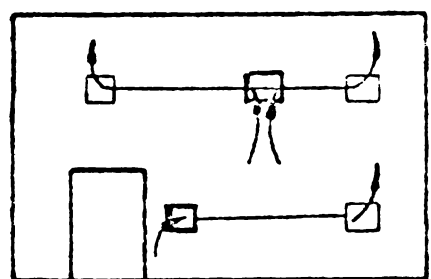
- nivelul zgomotului din interior să nu depășească 20-30 dB și în același timp să fie cu cel puțin 10 dB mai mic decît nivelul de zgomot ce urmează să fie măsurat;
- nivelul zgomotului aerian din interior să nu depășească 30 dB în timpul zilei;
- coeficientul de absorbție al camerei să fie mai mare de 0,99 pentru  $f = 100 \div 10.000$  Hz și mai mare de 0,9 pentru  $f < 50$  Hz;
- anihilarea perturbațiilor electromagnetice pentru a nu împiedica funcționarea aparaturilor de măsură.

Dimensiunile camerei surde și structura sa sînt prezentate în fig.48. Izolația pereților este realizată dintr-un ansamblu de straturi de lemn - amforă - PFL, peste care spre interior este lipit un strat de poliesteren, iar peste acesta sînt lipite prismele din spumă poliuretanică dispuse alternativ ca în fig.48-a. Grosimea totală a peretelui cu izolațiile respective este de 900 mm. În perețele frontal și cel lateral sînt prevăzute canale de aerisire cu șicane de amortizare acustică indicate în fig.48 - b,c. Ușa de acces este realizată cu aceleași straturi de izolație. În fig. 49 se prezintă o vedere interioară a camerei surde cu modelul de hidrogenerator vertical montat.

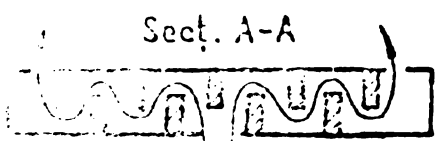




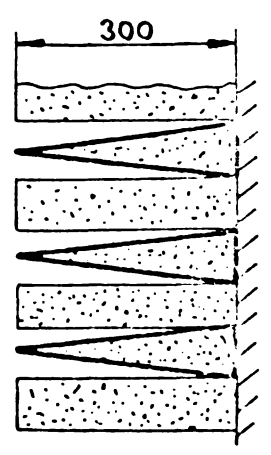
Perete lateral



Perete frontal



Sect. A-A



Dispoziția prismelor de spumă poliuretanică

Legendă:

- 1-Fundație
- 2-Izolație structurală
- 3-Izolație acustică
- 4-Strat amortizor de cauciuc
- 5-Strat exterior din lemn
- 6-Strat izolant din poliesteren
- 7-Strat fonoabsorbant din spumă poliuretanică
- 8-Ușă
- 9-Planșeu beton

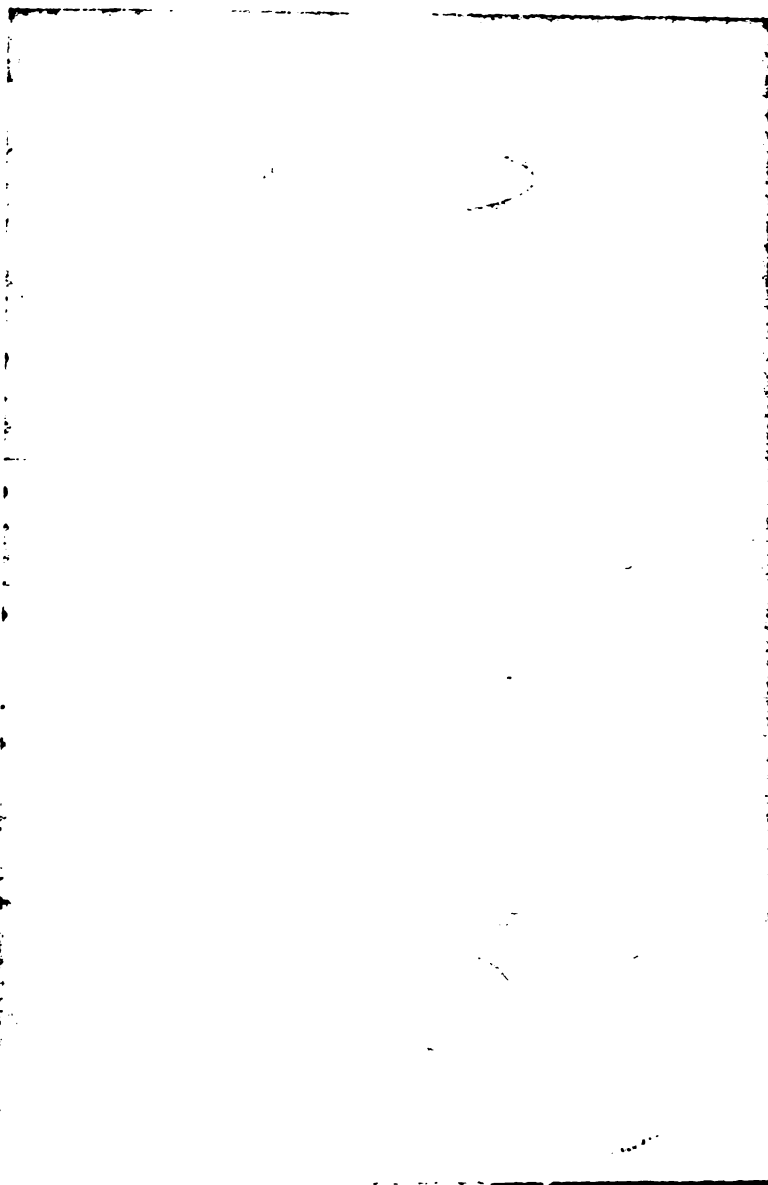


Fig. 49 - Vedere  
interioară a camerei  
surde.

### 6.1.2 - Echipamentul electric de acționare și măsură

Echipamentul electric asigură acționarea modelului de hidrogenerator și permite citirea mărimilor caracteristice.

Are următoarea componență:

- motor de curent continuu de 12 kW, 220 V cu turație variabilă în domeniul 750-2250 rot/min;
- reostat de pornire și reglare a turației motorului electric;
- panoul electric conținând aparatele de comandă și măsură;
- grup de redresori uscați pentru alimentarea motorului electric
- grup convertizor pentru alimentarea înfășu-

- rării de excitație
- rezistență de încărcare a modelului de hidrogenerator cu putere activă

Schema echipamentului electric este prezentată în fig.50.

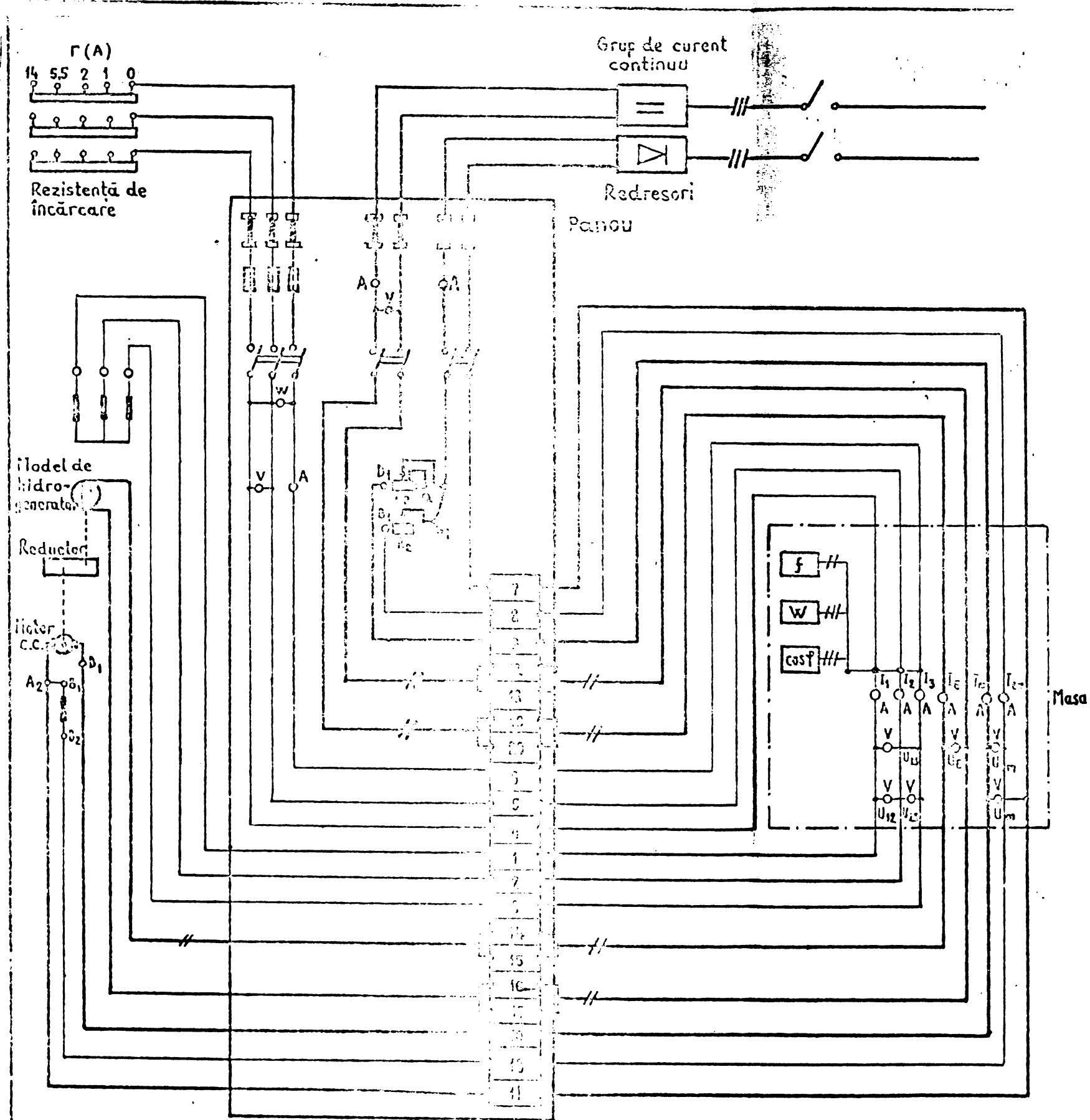


Fig.50- Schema echipamentului electric de acționare și măsură.

În panoul electric este prevăzut un șir de cleme, care permite conectarea unor aparate electrice de laborator cu clasă de precizie ridicată, care s-au amplasat pe o masă. În fig.51 se prezintă un aspect general din perioada de probe.

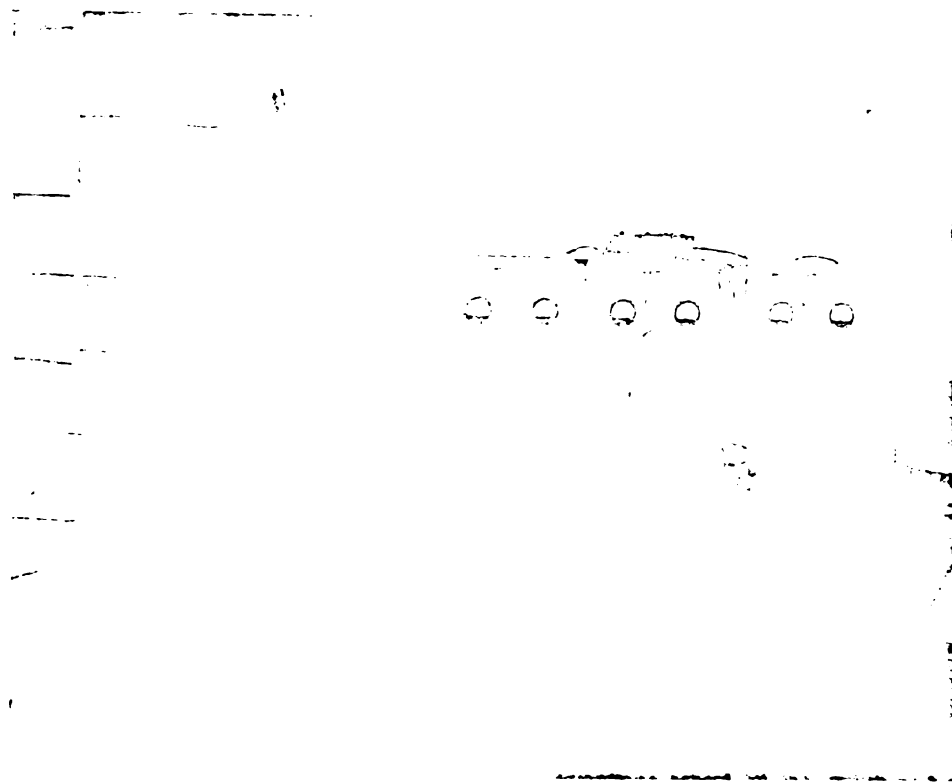


Fig. 51 - Aspect general din perioada de probe.

Motorul de antrenare se cuplează cu modelul de hidrogenerator prin intermediul unui reductor de turație, având raportul de transmisie 1500/100 rot/min, de unde rezultă că pot fi încercate modele de hidrogenerator în domeniul de turație 50-150 rot/min.

### 6.1.3 - Modelul de hidrogenerator

Modelul de hidrogenerator este un hidrogenerator vertical sincron de mică putere, a cărui ansamblu general este prezentat în fig.52 și care permite încercarea unei game mari de modele doar prin înlocuirea fierului activ al statorului bobinat și a coroanei polare, în domeniul de lungime 95-170 mm. Restul construcției se păstrează. Pentru a putea cerceta influența întrefierului din planele de separație ale fierului activ statoric, precum și a excentricității dintre rotor și stator, asupra nivelului de zgomot și vibrații, modelul este dotat cu dispozitivele de reglare 1 și 2. În cadrul lu-

BUPT

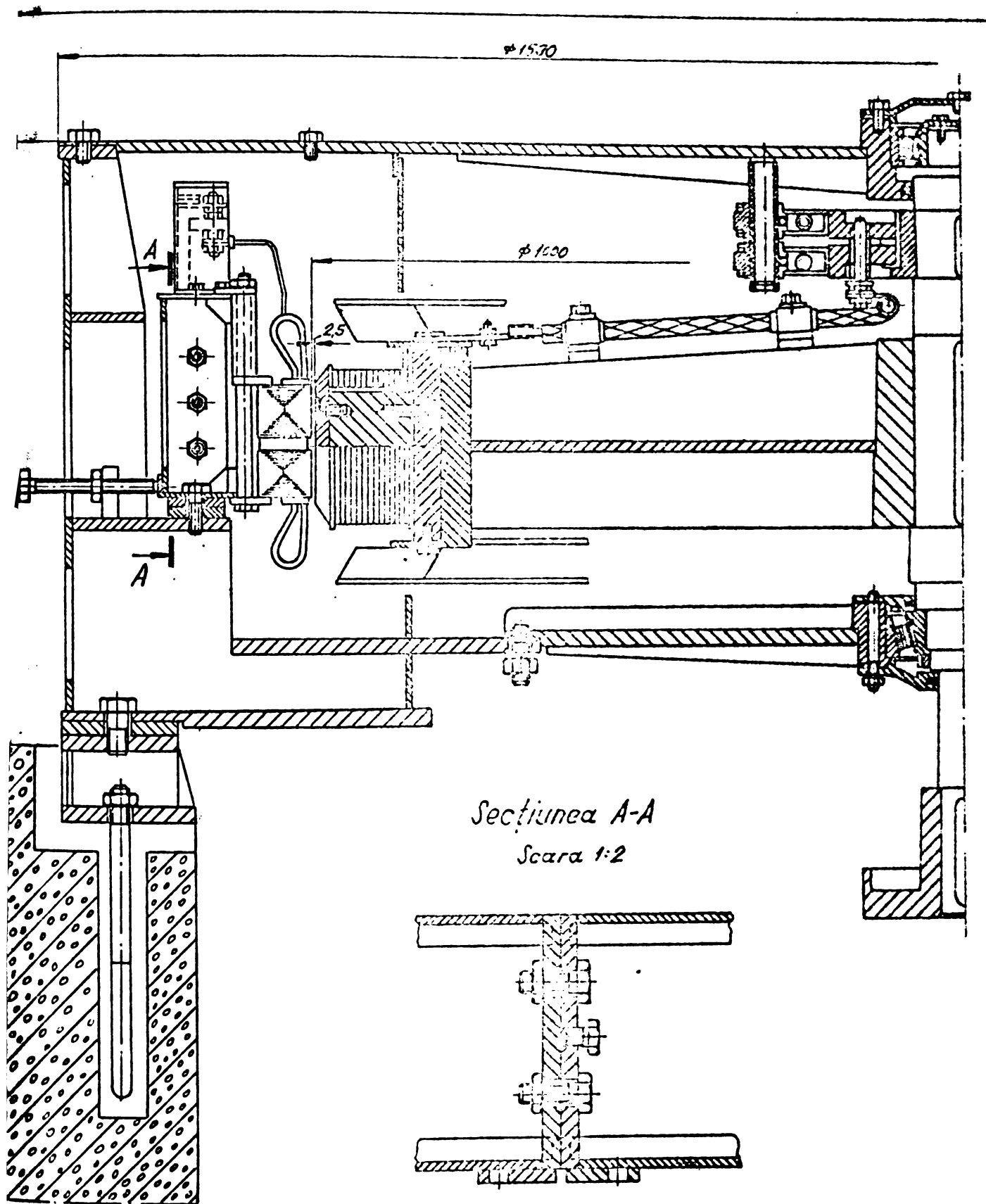


Fig. 52 - Ansamblul modelului de hidrogenator.

crării de față au fost încercate două modele de hidrogenator nr.1 și 2 care au aceleași caracteristici tehnice și anume:

- puterea: 10 kVA
- tensiunea: 400 V
- turația: 136,4 rot/min
- frecvența: 50 Hz
- numărul de faze: 3

Deosebirea dintre cele două modele constă în faptul că modelul nr.1 are  $q = 10^{10}/11$ , iar modelul nr.2 are  $q = 2$ .

#### 6.1.4 - Aparatele de măsură

Pentru măsurarea nivelului de zgomot și vibrații au fost folosite următoarele aparate de măsură:

- Sonometru de precizie portabil cu microfon integrat pentru măsurarea nivelului de presiune în decibeli, marca Philips tip PM 6400, având domeniul de măsură 30-140 dB cu trepte de măsură de 10 dB. Sonometrul posedă un comutator pentru rețelele corectoare ce acoperă domeniile:

A ..... 0÷55 dB  
B ..... 55÷85 dB  
C ..... 85÷130 dB

- Analizator de zgomote în octave având treptele de frecvență 63-125-250-500-1000-2000-4000-8000 Hz, marca Philips tip PM 6410, care se poate conecta la sonometru.
- Vibrometru marca VEB - WIB tip VP 102, cu ajutorul căruia se poate măsura amplitudinea și viteza vibrației mecanice în domeniul  $10^3$  - 1000  $\mu$ , respectiv 1-100 mm/sec.

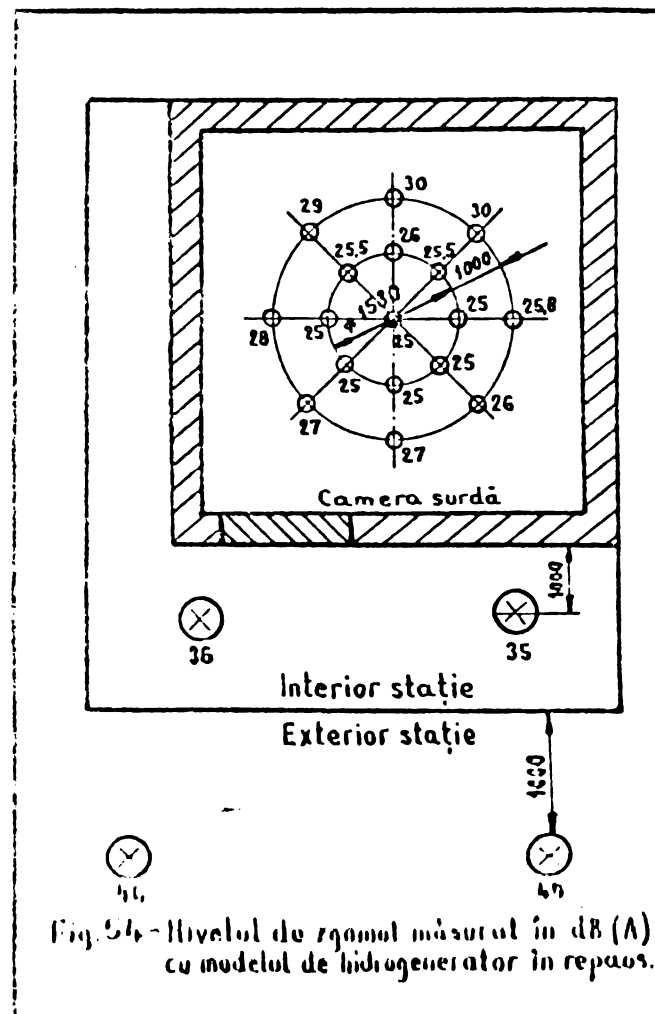
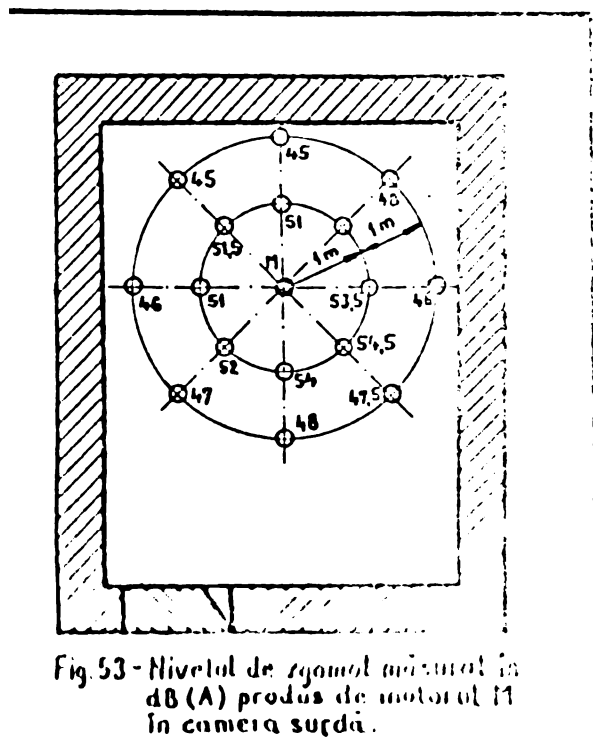
## 6.2. - Rezultate experimentale obținute la măsurători

### 6.2.1. - Regimul acustic din camera surdă

Pentru determinarea câmpului acustic al camerei surde, pe scutul modelului de hidrogenerator a fost așezat un motor asincron de 300 W. drept sursă concentrată de zgomot și s-a măsurat nivelul de zgomot în camera surdă, obținându-se valorile indicate în fig. 53. Analizând aceste valori se constată că la dublarea distanței față de sursă diferența între nivelele medii de presiune este de:

$$L_{pm} = L_{pm1} - L_{pm2} = 52,81 - 46,81 = 6 \text{ dB}$$

care este mai mare de 5 dB și care urmare conform definiției de la paragraful 5.1.1., în camera surdă are loc un câmp liber acustic, în care se pot efectua măsurători de zgomot pe modelele de hidrogenerator.



Pentru stabilirea calității de izolare fonică a camerei surde față de zgomotul din exterior, s-au efectuat măsurători pentru determinarea zgomotului aerian și a zgomotului structural din interiorul camerei surde. Din valorile măsurate și prezentate în fig.54 rezultă că nivelul mediu de zgomot aerian, cu echipamentul electric în stare de repaos, ceea ce corespunde cu zgomotul de fond al camerei surde, este :

$$L_{pf} = 26,5 \text{ dB(A)}$$

Valorile măsurate pentru nivelul de zgomot structural în cursul unei zile sînt cuprinse în domeniul 25-30 dB(A). Din valorile de mai sus rezultă că izolația acustică a camerei surde satisface condițiile tehnice impuse.

#### 6.2.2. Măsurători efectuate pe modelele de hidrogenerator

La cele două modele de hidrogenerator au fost efectuate măsurători de zgomot și vibrații în camera surdă, pentru următoarele regimuri de funcționare: stare de repaos, mersul în gol neexcitat cu periile de contact, ridicate și aplicate, mersul în gol excitat, mersul în sarcină.

La mersul în gol excitat și la mersul în sarcină s-au efectuat măsurători pentru următorii parametri:

|                |         |      |      |     |         |
|----------------|---------|------|------|-----|---------|
| n              | = 68,5; | 102; | 136; | 160 | rot/min |
| U <sub>L</sub> | = 100 ; | 200; | 300; | 400 | V       |
| Pap            | = 2,5 ; | 5;   | 7,5; | 10  | kVA     |

și pentru următoarele cazuri:

$$\delta_p = 0 ; 0,2; 0,4; 0,6 \text{ mm și } \varepsilon = 0 \text{ mm}$$

$$\delta_p = 0 \text{ mm și } \varepsilon = 0,25; 0,5 \text{ mm}$$

unde  $\delta_p$  este întrefierul dintre planșele de separație ale secțiilor de stator, iar  $\varepsilon$  este excentricitatea dintre rotor și stator.

Programul de probe expus mai sus a permis următoarele determinări ale nivelului de zgomot :

- creșterea de nivel de zgomot și separarea componentelor de zgomot, cu ajutorul regimurilor de funcționare stabilite;
- variația nivelului de zgomot în funcție de turație, tensiune și putere, prin modificarea parametrilor;
- variația nivelului de zgomot în funcție de întrefierul din planșele de separație și excentricitatea dintre rotor și stator.



Conturul de măsură conține un număr de 25 puncte, dispuse la o distanță de 1 m de suprafața laterală exterioară a modelului, a căror dispoziție este prezentată în fig.55. Valorile nivelului de zgomot global măsurat în aceste puncte, la mersul în gol excitat și la mersul în sarcină pentru modelul nr.1 și 2 sînt prezentate în tabela 11, iar valorile medii ale nivelului de zgomot pentru regimurile de funcționare stabilite sînt prezentate în tabela 12.

Tabela 11 - Nivelul de zgomot global în dB(B) măsurat la  $a = 1 \text{ m}$

| Model | Punct măs.  | Regim |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |      |
|-------|-------------|-------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
|       |             | 1     | 2    | 3    | 4    | 5    | 6    | 7    | 8    | 9    | 10   | 11   | 12   | 13   | 14   | 15   | 16   | 17   | 18   | 19   | 20   | 21   | 22   | 23   | 24   |
| 1     | Gol excitat | 69    | 68,5 | 69,5 | 67,5 | 68   | 69   | 68,5 | 68   | 66,5 | 67   | 67,5 | 66,5 | 69,5 | 66   | 68,5 | 66   | 67,5 | 68   | 68   | 68   | 69,5 | 68   | 68,5 | 67   |
|       | sarcină     | 69    | 70   | 71   | 69   | 69   | 69,5 | 70,5 | 68   | 67   | 66,5 | 67,5 | 66   | 68,5 | 67   | 68,5 | 65   | 66,5 | 68   | 68   | 67,3 | 69,5 | 68,5 | 70   | 67   |
| 2     | Gol excitat | 65,8  | 66   | 63,5 | 66,5 | 64,4 | 65   | 66   | 65,5 | 66,5 | 63,5 | 64   | 64,5 | 64,5 | 66,5 | 63   | 65,6 | 63,5 | 64,5 | 65   | 63,5 | 65   | 67,5 | 66   | 66,5 |
|       | sarcină     | 69,5  | 69   | 70,5 | 70   | 69,6 | 69,5 | 69   | 70,5 | 68,5 | 67,5 | 67,2 | 68,2 | 66,5 | 69,2 | 67,5 | 69,2 | 65,5 | 67,2 | 68,5 | 68,3 | 68,2 | 70,5 | 69,8 | 70,6 |

Tabela 12 - Valorile medii ale nivelului de zgomot global

| Regimul de funcționare                      | Nivel de presiune mediu dB(B) |         |
|---|-------------------------------|---------|
|   | Model 1                       | Model 2 |
| Stare de repaos                             | 26,52                         | 26,52   |
| Mersul în gol neexcitat cu periile ridicate | 65,1                          | 62,5    |
| Mersul în gol neexcitat cu periile aplicate | 65,6                          | 63      |
| Mersul în gol excitat                       | 67,93                         | 65,13   |
| Mersul în gol sarcină                       | 68,23                         | 68,75   |

Din tabela 12 se constată că de la regimul de repaos pentru care nivelul zgomotului de fond are valoarea de 26,52 dB(B), la regimul de mers în gol neexcitat cînd apare zgomotul

aerodinamic și mecanic are o creștere a nivelului global de zgomot la valoarea de  $65,6 \pm 63$  dB(B), iar în continuare la regimul de mers în gol excitat când acționează zgomotul electromagnetic nivelul de zgomot urcă la valorile de  $67,93 \pm 65,13$  dB(B) și în final la regimul de mers în sarcină nivelul de zgomot se stabilește la valorile  $68,23 \pm 68,75$  dB(B). Din aceste valori rezultă că la stabilirea nivelului global de zgomot ponderea revine zgomotului aerodinamic. Pentru cunoașterea exactă a ponderii surselor de zgomot în formarea nivelului global de zgomot este necesar să se efectueze separarea componentelor constituante. Ca urmare cu ajutorul valorilor din tabela 12, a relației (2c) și a fig.3 se determină componentele de zgomot, care acționează simultan în interiorul modelului de hidrogenerator și care are valorile prezentate în tabela 13.

Tabela 13 - Valorile componentelor de zgomot

| Componentele de zgomot        | $L_p$ dB(B) |         |
|-------------------------------|-------------|---------|
|                               | Model 1     | Model 2 |
| Zgomot de fond                | 26,52       | 26,52   |
| Zgomot aerodinamic și mecanic | 56,1        | 53,3    |
| Zgomot electromagnetic        | 64,5        | 61      |
| Zgomot la mers în sarcină     | 55,93       | 64,73   |

Examinînd valorile componentelor de zgomot, rezultă că de fapt componenta preponderentă este zgomotul electromagnetic, după care în ordine descrescîndă urmează zgomotul aerodinamic și în final zgomotul la mersul în sarcină.

Modificarea întrefierului în planele de separație ale fierului activ și a excentricității rotorului față de stator, determină creșterea nivelului de zgomot cu valorile prezentate în tabela 14.

Examinînd valorile din tabela 14 rezultă că prezența întrefierului în planele de separație, de ordinul 0,6 mm, determină o creștere a nivelului global de zgomot la

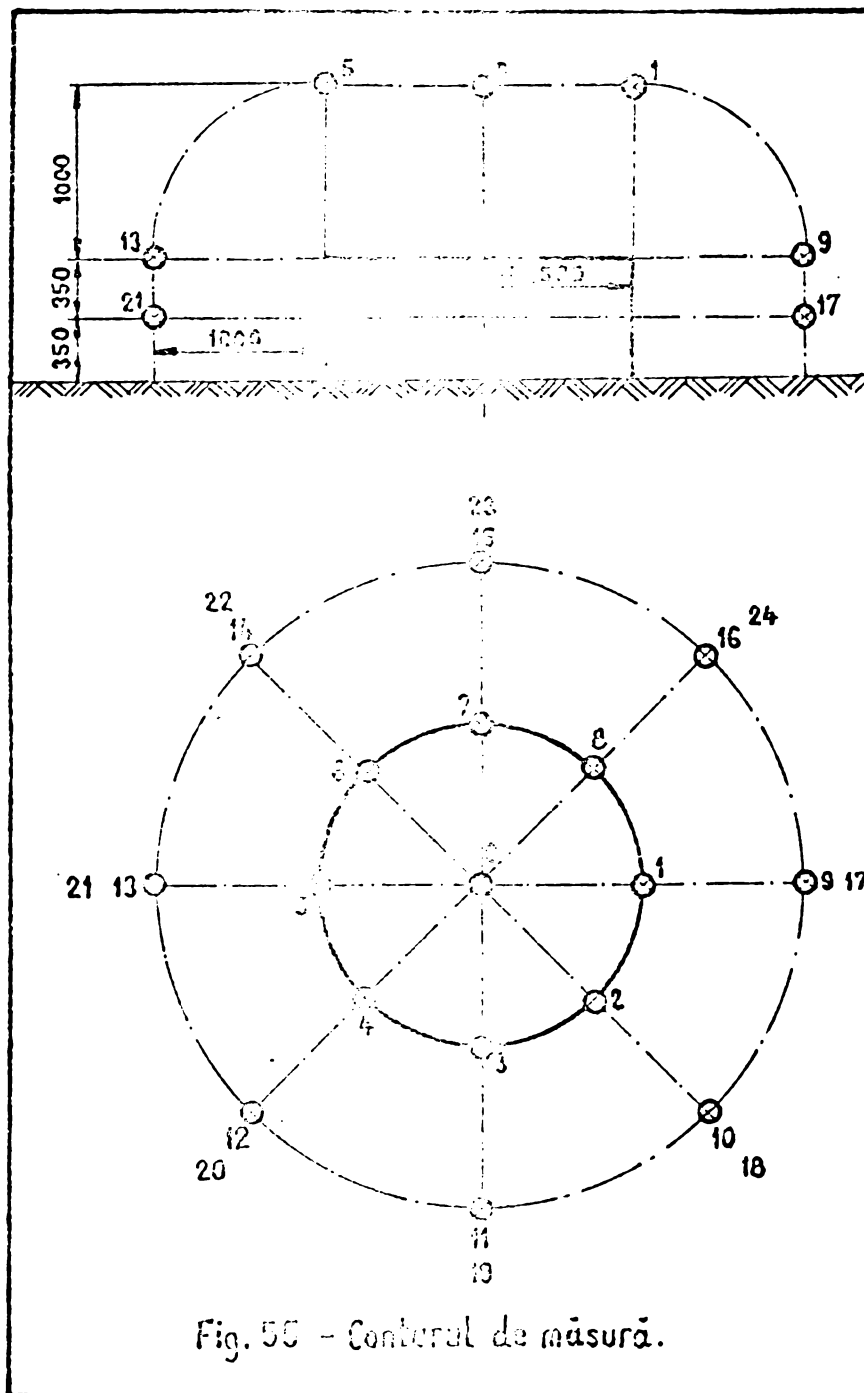


Fig. 55 - Controlul de măsură.

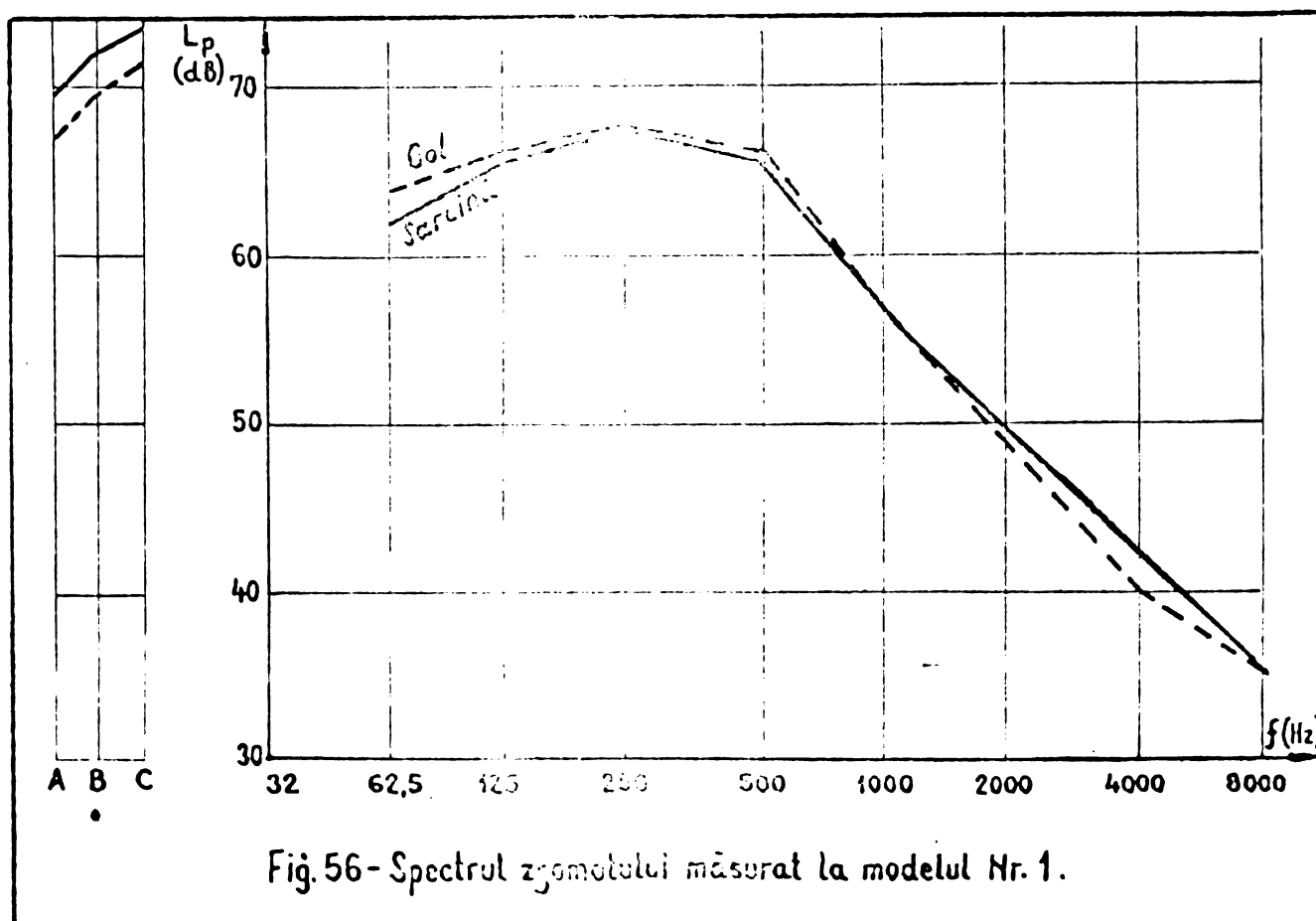
mersul în sarcină de 4 dB(B) în timp ce o creștere a excentricității rotorului față de stator de ordinul 0,5 mm, în cazul unui întrefier de 2,5 mm, produce o creștere a nivelului global de zgomot cu 1 dB(B). Ca urmare prezența întrefierurilor în planele de separație determină o creștere mai mare a nivelului global de zgomot decât prezența excentricității dintre rotor și stator. De asemenea rezultă că pentru a limita creșterea nivelului global de zgomot la 1 dB(B), în cazul acestor modele de hidrogenerator, rezultă că valoarea întrefierului în planele de separație trebuie limitată la 0,15 mm - ceea ce poate fi considerată o condiție tehnică de fabricație prescrisă în proiect.

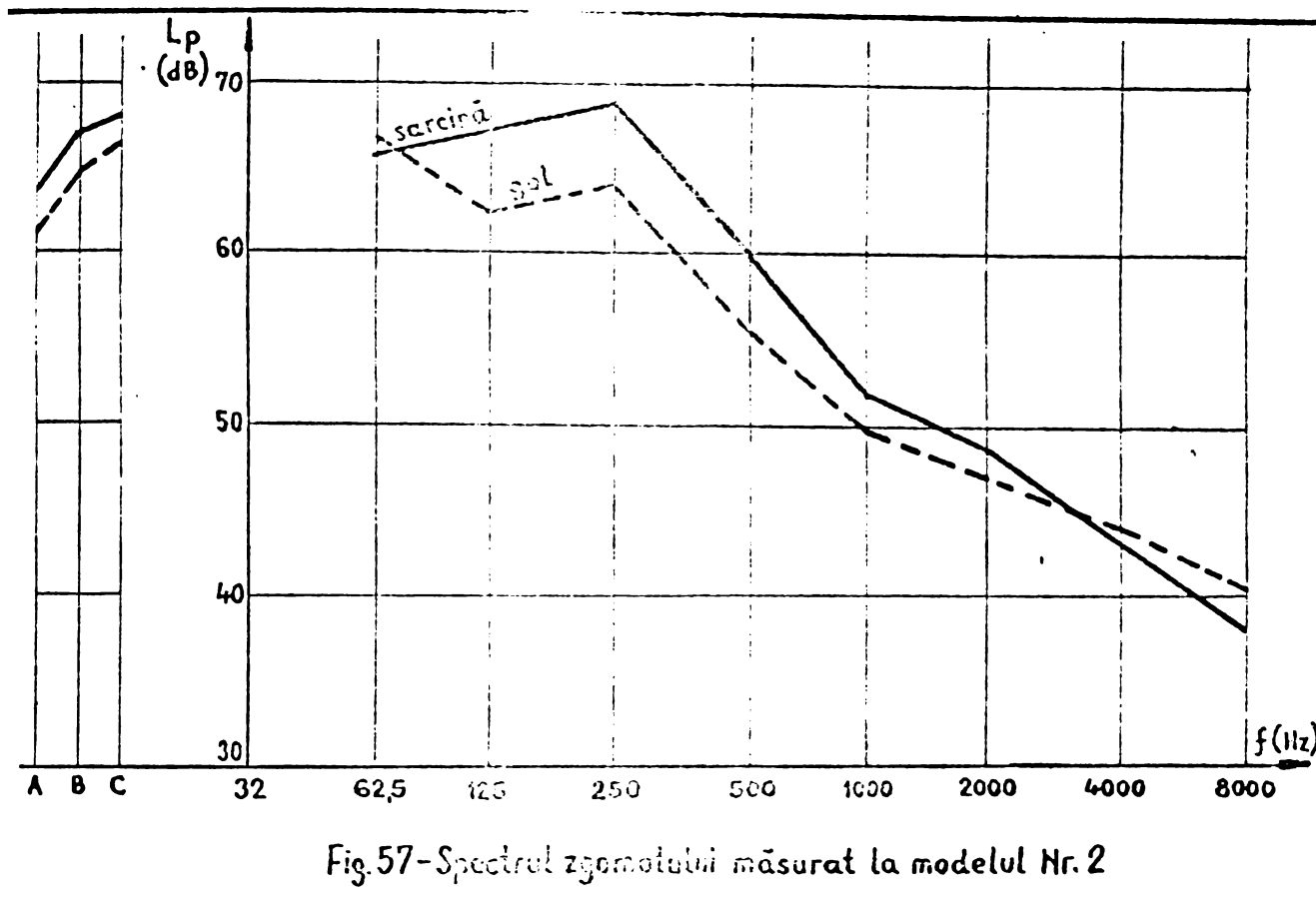
În punctele cu nivelul de zgomot global cel mai ri-

dicat, s-a efectuat analiza zgomotului în funcție de frecvență, iar spectrogramele respective sînt prezentate în fig.56 și 57.

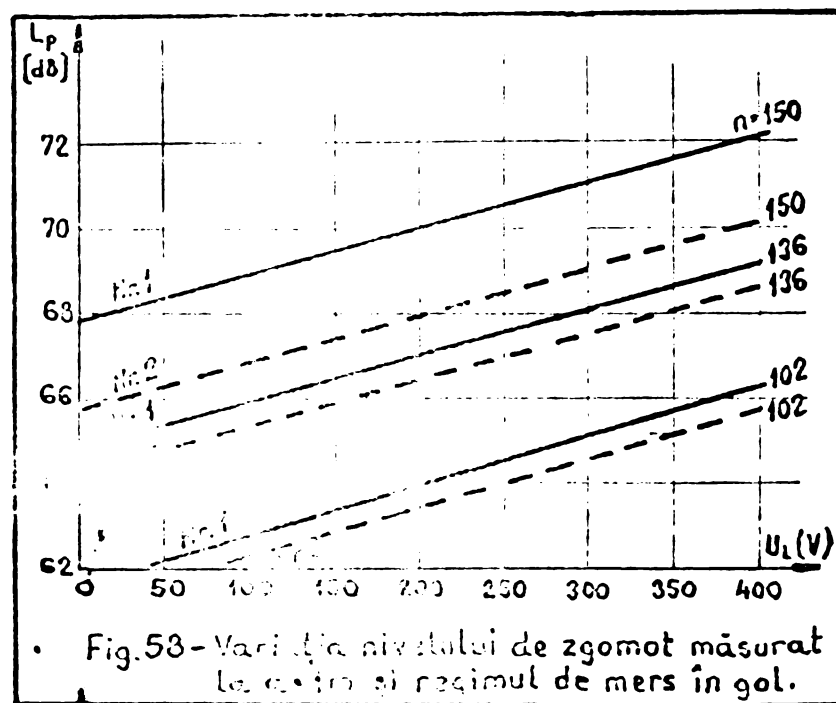
Tabela 14 - Creșterea nivelului de zgomot global în dB(B) în funcție de  $\delta_p$  și  $\xi$ .

| Cazul | $\delta_p$<br>[mm] | $\xi$<br>[mm] | Modelul 1 |         | Modelul 2 |         |
|-------|--------------------|---------------|-----------|---------|-----------|---------|
|       |                    |               | Gol       | Sarcină | Gol       | Sarcină |
| 1     | 0                  | 0             | 0         | 0       | 0         | 0       |
| 2     | 0,2                | 0             | + 0,5     | + 1     | + 0,5     | + 1     |
| 3     | 0,4                | 0             | + 1       | + 2     | + 1,5     | + 2,5   |
| 4     | 0,6                | 0             | + 1,5     | + 4     | + 3       | + 4     |
| 5     | 0                  | 0,25          | 0         | + 0,5   |           |         |
| 6     | 0                  | 0,5           | + 0,5     | + 1     |           |         |





Cu ajutorul măsurătorilor de nivel de zgomot efectuate la o distanță de 1 m, de la suprafața laterală a modelelor, în funcție de parametrii stabiliți, se poate prezenta variația nivelului de zgomot la mersul în gol și la mersul în sarcină, prin curbele din fig. 58 și 59 cu ajutorul cărora se poate determina coeficientul experimental din relația (143). Din aceste curbe rezultă că, nivelul de zgomot crește cu turația, tensiunea de borne și puterea.



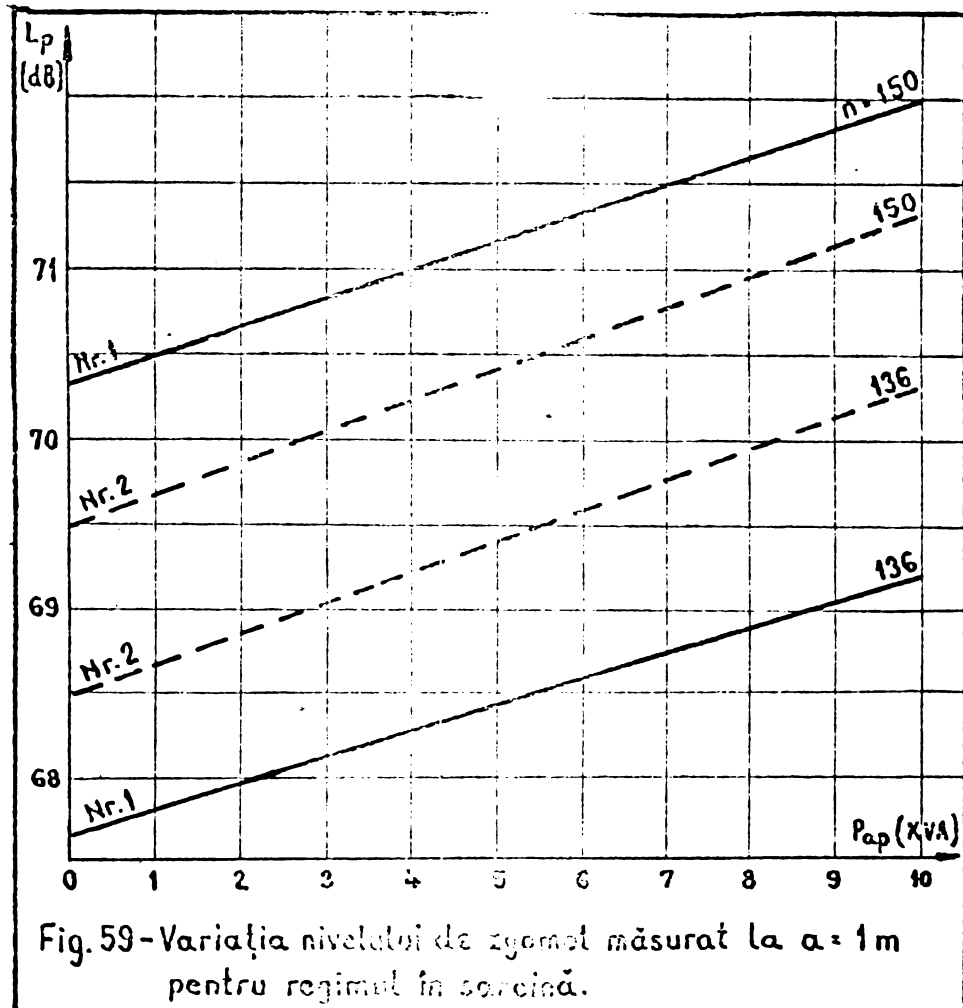


Fig. 59 - Variația nivelului de zgomot măsurat la  $a = 1$  m pentru regimul în sarcină.

Pe baza relațiilor (82) și (83) și a tabelului 4 se poate întocmi pentru cele două modele tabloul undelor de forță, obținându-se rezultatele prezentate în tabela 15 și 16.

Din aceste tabele rezultă că forțele magnetice cele mai pronunțate au următoarele frecvențe:

- Modelul 1:  $f_r = 100, 600, 1100, 1700$  Hz
- Modelul 2:  $f_r = 100, 500, 700, 1100, 1300,$   
 $1700, 1900$  Hz

Pe de altă parte pentru cazul când statorul este cel mai solicitat de forțele magnetice radiale de ordinul  $r = 0$ , cu ajutorul relațiilor (58) și (110) rezultă următoarele frecvențe:

- Modelul 1:  $f_r = 572$  Hz
- Modelul 2:  $f_r = 600$  Hz

care se regăsesc în valorile determinate cu ajutorul tab. 15, 16.

Tabela 15 - Modelul 1

| $\gamma$ | $\frac{\gamma \gamma'}{6} = \frac{2\rho}{2\gamma'p - \mu'N_1}$ |          |          |          | $f_r$<br>[Hz] |
|----------|--|----------|----------|----------|---------------|
|          | $\mu'=0$   | $\mu'=1$ | $\mu'=2$ | $\mu'=3$ |               |
| 1        | 1  | -0,21    | -0,095   | -0,061   | 100           |
| 2        | 0,5  | -0,268   | -0,106   | -0,065   | 200           |
| 3        |  |          |          |          |               |
| 4        |  |          |          |          |               |
| 5        | 0,2  | -1,37    | -0,155   | -0,062   | 500           |
| 6        | 0,166  | 3,66     | -0,18    | -0,089   | 600           |
| 7        | 0,143  | 0,785    | -0,225   | -0,098   | 700           |
| 8        |  |          |          |          |               |
| 9        |  |          |          |          |               |
| 10       | 0,1  | 0,234    | -0,687   | -0,139   | 1000          |
| 11       | 0,09   | 0,189    | -2,2     | -0,16    | 1100          |
| 12       | 0,08   | 0,159    | 1,83     | -0,193   | 1200          |
| 13       |  |          |          |          |               |
| 14       |  |          |          |          |               |
| 15       |  |          |          |          |               |
| 16       | 0,062  | 0,097    | 0,22     | -0,847   | 1600          |
| 17       | 0,059  | 0,088    | 0,18     | -5,5     | 1700          |
| 18       | 0,06   | 0,081    | 0,153    | 1,22     | 1800          |
| 19       | 0,045  | 0,0615   | 0,095    | 0,208    | 2200          |
| 20       |  |          |          |          |               |
| 21       |  |          |          |          |               |
| 22       | 0,045  | 0,0615   | 0,095    | 0,208    | 2200          |
| 23       | 0,043  | 0,058    | 0,087    | 0,172    | 2300          |
| 24       | 0,042  | 0,055    | 0,08     | 0,147    | 2400          |
| 25       |  |          |          |          |               |

Tabela 16 - Modelul 2

| $\gamma$ | $\frac{\gamma \gamma'}{6} = \frac{2\rho}{2\gamma'p - \mu'N_1}$ |          |          |          | $f_r$<br>[Hz] |
|----------|--|----------|----------|----------|---------------|
|          | $\mu'=0$   | $\mu'=1$ | $\mu'=2$ | $\mu'=3$ |               |
| 1        | 1  | -0,2     | -0,091   | -0,06    | 100           |
| 2        |  |          |          |          |               |
| 3        |  | -0,33    |          |          |               |
| 4        |  | -0,5     |          |          |               |
| 5        |  | -1       |          |          | 500           |
| 6        | 0,167  | 0        |          |          | 600           |
| 7        |  | 1        |          |          | 700           |
| 8        |  | 0,5      |          |          |               |
| 9        |  | 0,33     |          |          |               |
| 10       |  | 0,25     | -0,5     |          |               |
| 11       |  | 0,2      | -1       |          | 1100          |
| 12       |  |          | 0        |          | 1200          |
| 13       |  |          | 1        |          | 1300          |
| 14       |  |          | 0,5      |          |               |
| 15       |  |          | 0,33     |          |               |
| 16       |  |          |          | -0,5     |               |
| 17       |  |          |          | -1       | 1700          |
| 18       |  |          |          | 0        | 1800          |
| 19       |  |          |          | 1        | 1900          |
| 20       |  |          |          | 0,5      |               |
| 21       |  |          |          | 0,33     |               |
| 22       |  |          |          |          |               |
| 23       |  |          |          |          |               |
| 24       |  |          |          |          |               |
| 25       | 0,0417   | 0,053    | 0,077    | 0,14     |               |

Aplicînd relațiile de calcul pentru nivelul de zgomot, din prezenta lucrare, se obțin valorile prezentate în tab 17, unde sînt notate și valorile respective obținute la măsurători.

Tabela 17 - Nivelul de zgomot determinat la cele două modele pentru  $r = 0$

| Mărimea  | Relația de calcul | Model 1 | Model 2 | U. M.     | Natura valorilor |
|--|-------------------|---------|---------|-----------|------------------|
| $\lambda_r = \frac{c}{f_r}$  | 131               | 60      | 57,3    | cm        | calculat         |
| $p_{ef} p_r = 182 \cdot f_r \cdot Y_r$                                   | 129               | 0,4     | 0,35    | $\mu$ bar | "                |
| $\Lambda_{gol}$  | fig. 15           | 65      | 62      | Foni      | "                |
| $P_{rel r}$  | fig. 17           | 1       | 1       | u. r.     | "                |
| $p_{ef st. r} = 182 \cdot f_r \cdot Y_r \sqrt{P_{rel r}}$                | 133               | 0,4     | 0,35    | $\mu$ bar | "                |
| $L_{pr} = 20 \log [9,1 \cdot 10^5 \cdot f_r \cdot Y_r \sqrt{P_{rel r}}]$ | 141               | 66      | 64,85   | dB        | "                |
| $L_{pgol}$   |                   | 67,93   | 65,13   | dB (B)    | măsurat          |

Examinînd aceste valori rezultă că nivelul de zgomot calculat este:

- Modelul 1: 65 ÷ 66 dB

- Modelul 2: 62 ÷ 64,8 dB

iar cel măsurat, din tab.13, este:

- Modelul 1: 67,93 dB(B)

- Modelul 2: 65,13 dB(B)

Diferența dintre valorile calculate și cele măsurate fiind de maxim 3,5 %, rezultă că gradul de precizie se înscrie în limitele admisibile.

Efectuînd o analiză a armonicelor fracționare, rezultă valorile prezentate în tabela 18, pentru cazul modelului 1.

Tabela 18 - Tabloul armonicelor fracționare

| Mărimea     | Relația | Valori |           |             |             |             |            |          |          |          |          |
|-------------|---------|--------|-----------|-------------|-------------|-------------|------------|----------|----------|----------|----------|
|             |         | 0      | 1         | 2           | 3           | 4           | 5          | 6        | 7        | 8        | 9        |
| $k$         | 96      |        |           |             |             |             |            |          |          |          |          |
| $\nu$       | 96      | 11/11  | 13/11     | 15/11       | 17/11       | 19/11       | 21/11      | 23/11    | 25/11    | 27/11    | 28/11    |
|             |         | 11/11  | 9/11      | 7/11        | 5/11        | 3/11        | 1/11       | -        | -        | -        | -        |
| $\xi_{zv}$  | 111     | 0,967  | 0,0258    | 0,031       | 0,0745      | 0,0279      | 0,0239     | 0,0438   | 0,0408   | 0,0243   | 0,0298   |
| $\xi_s$     |         | 0,982  | 0,998     | 0,766       | 0,853       | 0,584       | 0,698      | 0,1243   | 0,271    | 0,025    | -0,456   |
| $\xi_v$     | 112     | 0,949  | 0,0257    | 0,0237      | 0,0638      | 0,0509      | 0,0167     | 0,0054   | 0,011    | 0,0006   | -0,0054  |
| $K_{\nu 0}$ | 113     | 1      | 0,023     | 0,04        | 0,0435      | 0,119       | 0,0102     | 0,063    | 0,0056   | 0,0003   | -0,0136  |
| $r$         | 119     | 0      | 4         | 8           | 12          | 16          | 20         | 24       | 28       | 32       | 36       |
| $fr$        | 120     | 100    | 118<br>81 | 136<br>63,5 | 154<br>45,5 | 173<br>27,3 | 191<br>9,1 | 209<br>- | 227<br>- | 245<br>- | 264<br>- |
| $fr_{tot}$  | 136     | 0      | 12        | 52          | 119         | 213         | 333        | 481      | 655      | 856      | 1084     |



Examinînd valorile tabelă 18, rezultă următoarele constatări :

- armonica de ordinul  $\nu = \frac{19}{11}$ , care determină forța magnetică radială de ordinul  $r = 16$ , este preponderentă în formarea nivelului de zgomot, deoarece  $K_{\nu_0} = 11,9 \%$  ;
- frecvențele de oscilație proprie ale statorului de 119 și 213 Hz, corespunzătoare pentru  $r = 12$  și  $16$ , au valorile apropiate de frecvențele forțelor magnetice radiale de 118 și 209 Hz, corespunzătoare pentru  $r = 4$  și  $r = 24$  și deci nivelul de zgomot global este influențat de fenomenul de rezonanță.

Intrucît toate valorile măsurate diferă cu mai mult de 10 dB față de zgomotul de fond, nu se aplică nici o corecție la valorile măsurate.

### 6.2.3. - Măsurători efectuate la hidrogeneratoare aflate în exploatare la centrale hidroelectrice

S-au efectuat măsurători de zgomot pe următoarele 12 tipuri distincte de hidrogeneratoare aflate în exploatare la centralele hidroelectrice notate simbolic cu numărul de ordine stabilit în tabelă 21, ale căror date nominale sînt :

|             |       |                     |       |           |     |
|-------------|-------|---------------------|-------|-----------|-----|
| CHE - Nr.1  | ..... | $P_{ap} = 8500$ kVA | ..... | $n = 250$ | rpm |
| CHE - Nr.2  | ..... | 12500 "             | ..... | 136,4     | "   |
| CHE - Nr.3  | ..... | 6200 "              | ..... | 214,3     | "   |
| CHE - Nr.4  | ..... | 25000 "             | ..... | 166,7     | "   |
| CHE - Nr.6  | ..... | 25500 "             | ..... | 300       | "   |
| CHE - Nr.7  | ..... | 4300 "              | ..... | 136,4     | "   |
| CHE - Nr.8  | ..... | 8850 "              | ..... | 214,3     | "   |
| CHE - Nr.9  | ..... | 26000 "             | ..... | 100       | "   |
| CHE - Nr.10 | ..... | 21000 "             | ..... | 93,75     | "   |
| CHE - Nr.14 | ..... | 185000 "            | ..... | 375       | "   |
| CHE - Nr.15 | ..... | 190000 "            | ..... | 71,5      | "   |
| CHE - Nr.17 | ..... | 6400 "              | ..... | 166,7     | "   |

In cadrul măsurătorilor au fost determinate următoarele :

- nivelul de zgomot total în repaos, la mersul

în gol neexcitat, la mersul în gol excitat și la mersul în sarcină nominală determinat cu filtrele A,B,C, ale căror valori sînt prezentate în tabela 19.

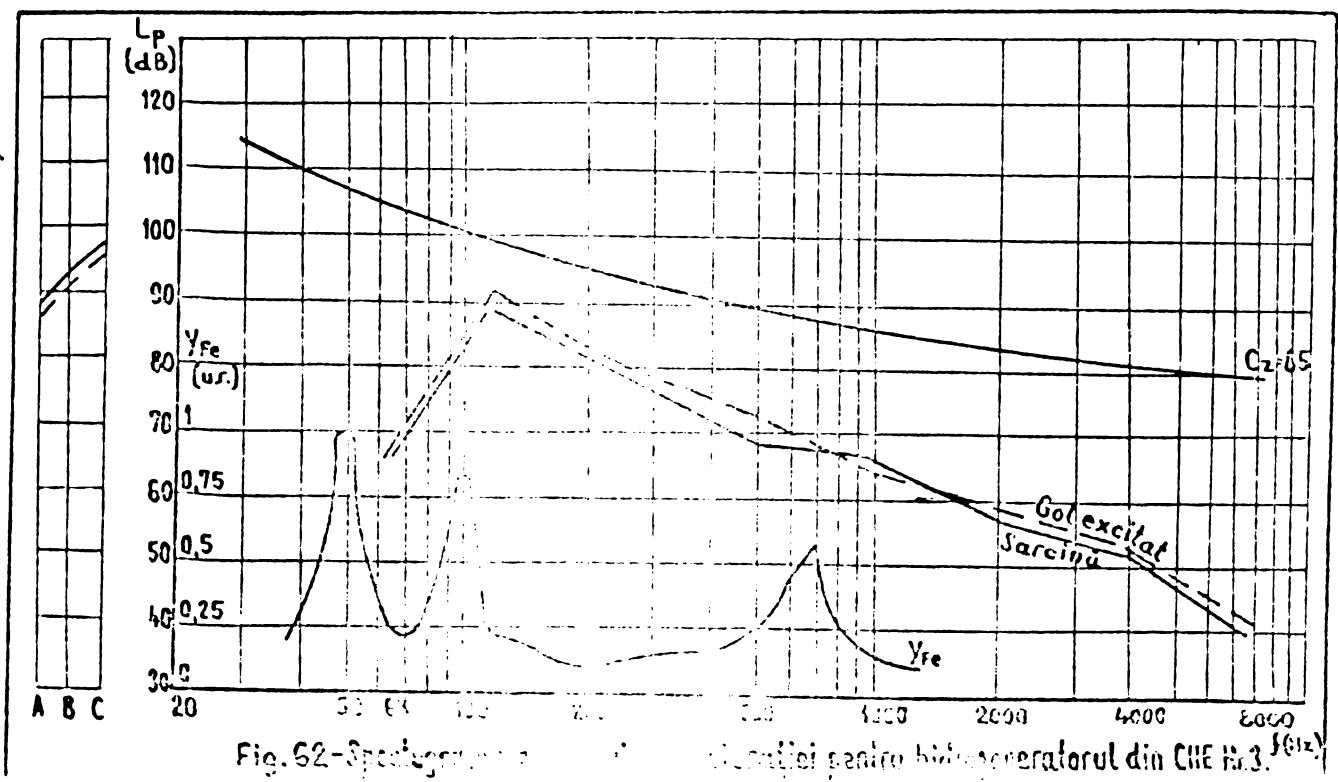
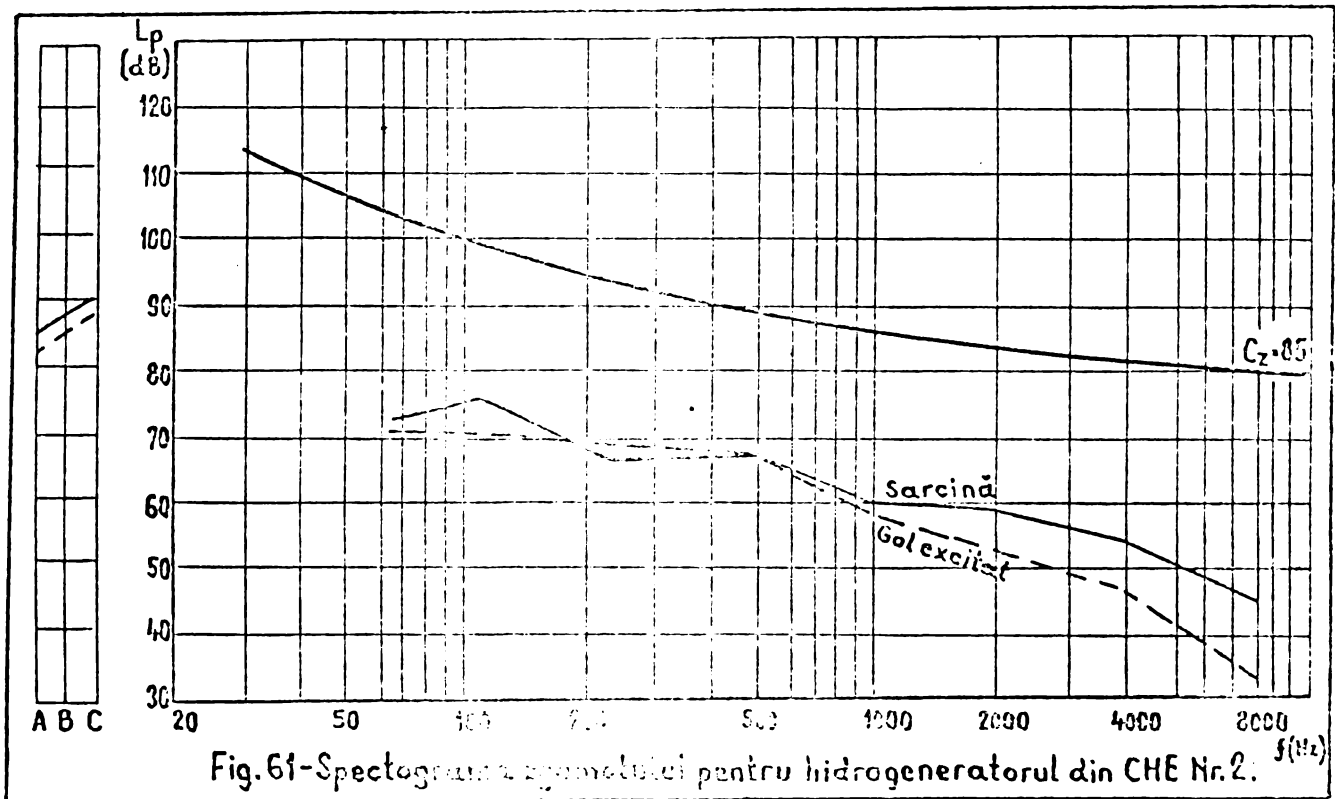
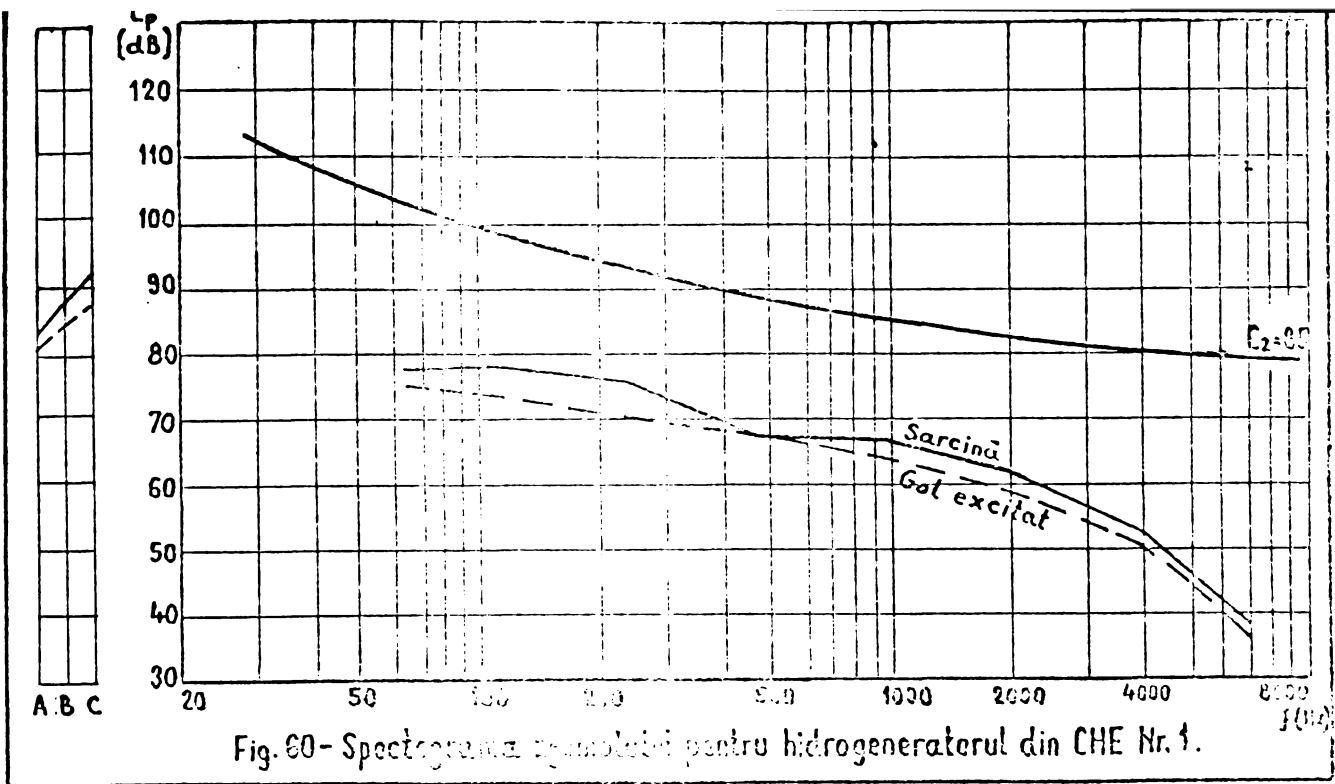
- valorile corespunzătoare ale componentelor de zgomot, care acționează simultan la formarea zgomotului total, și care sînt prezentate în tabela 20.
- spectrogramele zgomotului prezentate în fig.6c-7o în care este trasată și curba de egală senzație auditivă  $C_z = 85$ , considerată ca limită admisibilă.
- oscilograma vibrațiilor fierului activ statoric al hidrogenatorului de la CHE Nr.3, prezentată în fig.71.
- spectrograma vibrațiilor fierului activ al statorului în zona planelor de separație, pentru hidrogenatorul de la CHE Nr.2, prezentată în fig.72.

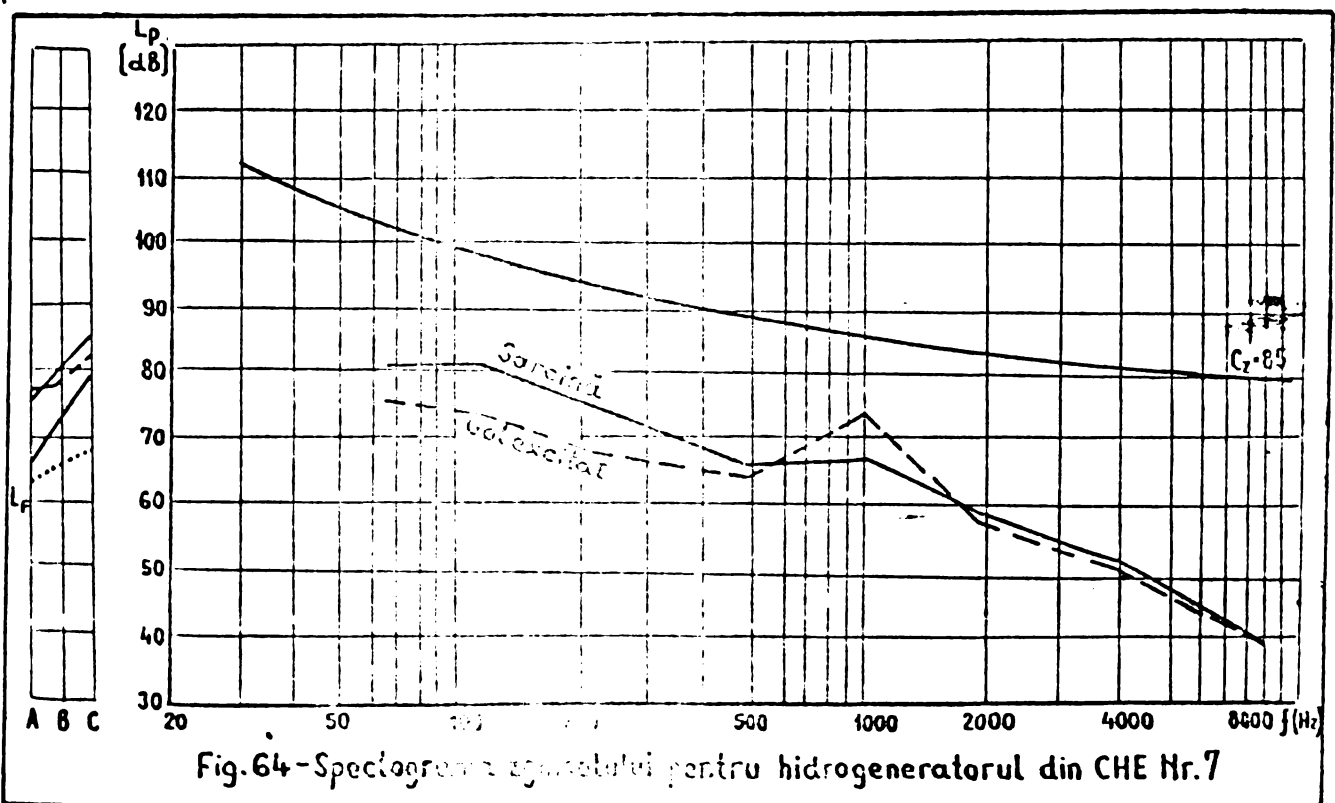
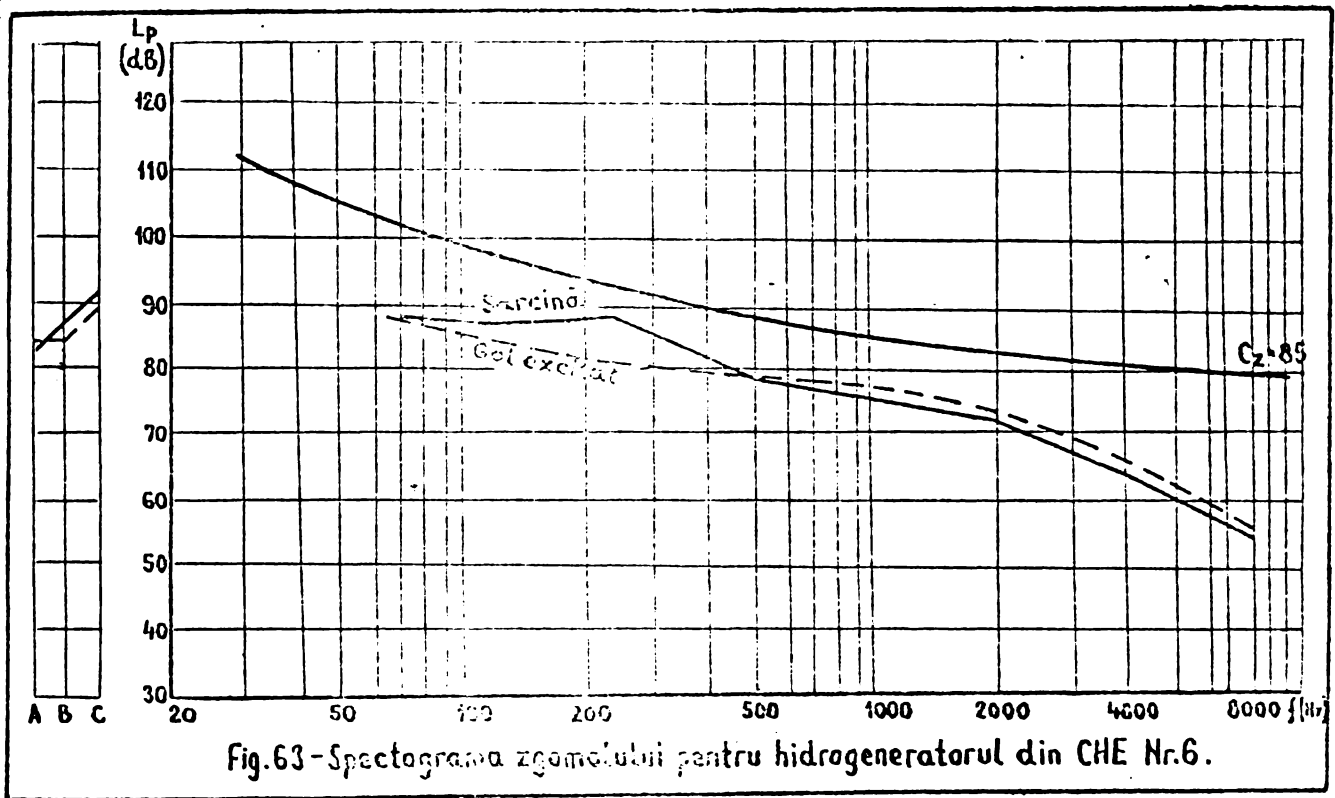
Tabela 19 - Nivelul de zgomot total măsurat

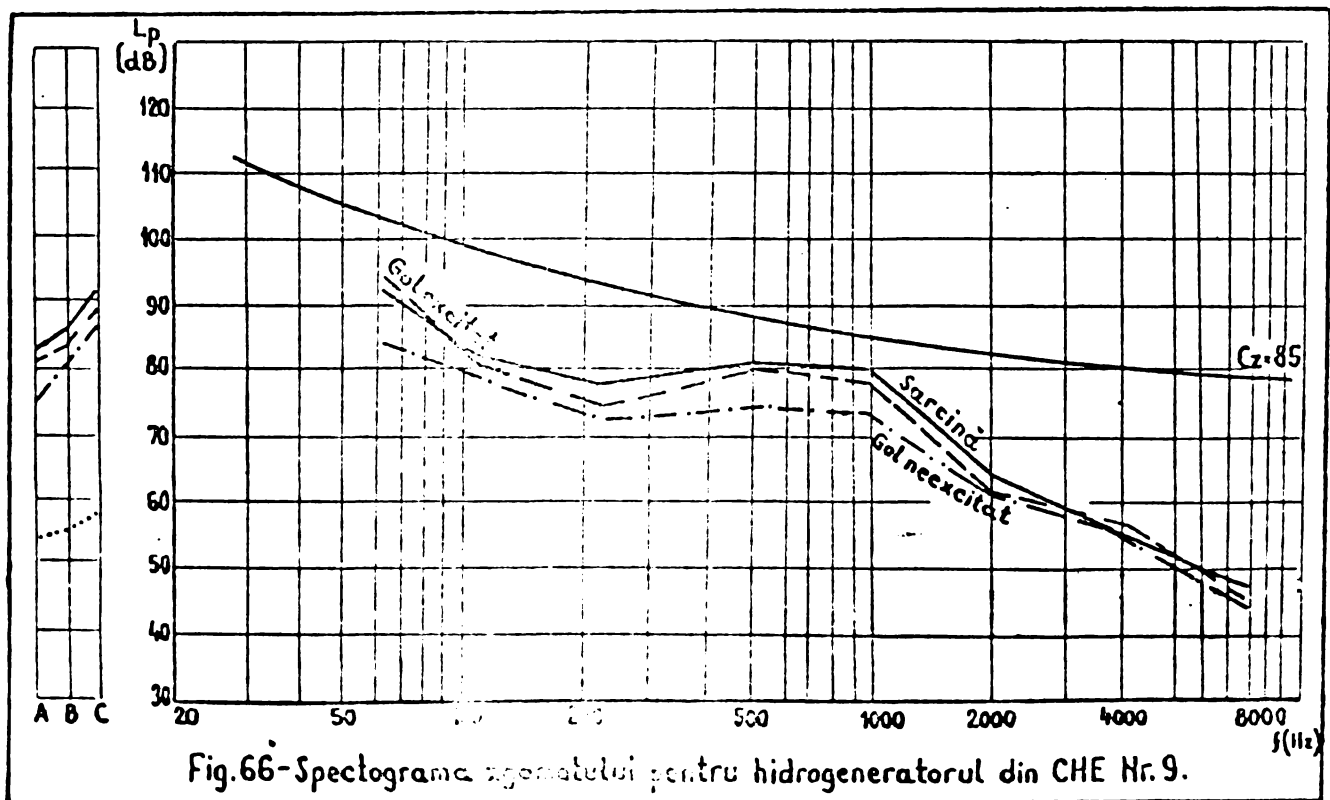
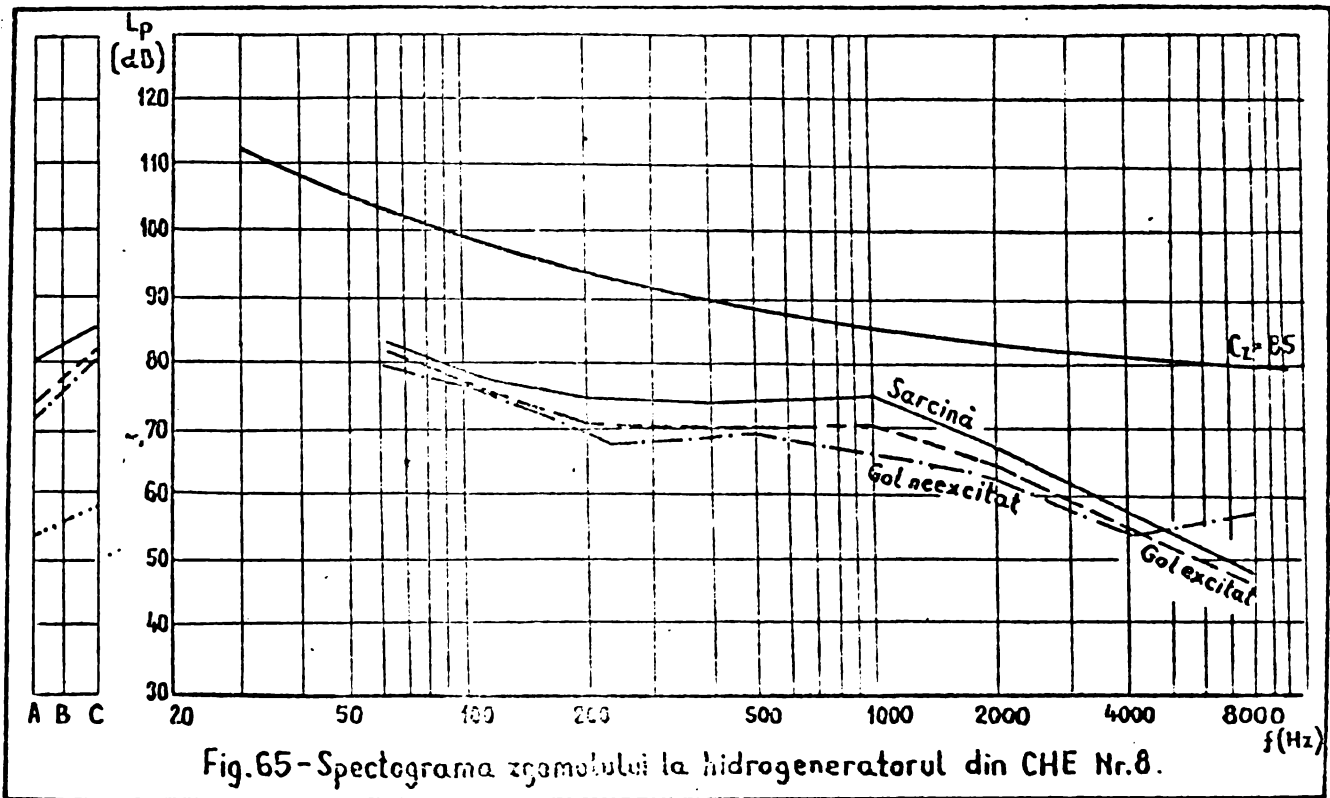
| Hidrogenerator<br>din CHE nr. | Zgomotul de fond<br>$L_{pf}$ [dB] |    |      | Gol neexcitat<br>$L_{ptn}$ [dB] |      |      | Gol excitat<br>$L_{pte}$ [dB] |      |      | Sarcină<br>$L_{pts}$ [dB] |      |      |
|-------------------------------|-----------------------------------|----|------|---------------------------------|------|------|-------------------------------|------|------|---------------------------|------|------|
|                               | A                                 | B  | C    | A                               | B    | C    | A                             | B    | C    | A                         | B    | C    |
|                               | 1                                 | 54 | 56   | 59                              | 78   | 82   | 85                            | 81   | 85   | 88                        | 82   | 87,5 |
| 2                             | 50,5                              | 53 | 55   | 81                              | 83   | 86   | 82                            | 85   | 88   | 85                        | 88   | 90   |
| 3                             | 53                                | 56 | 59   | 85                              | 89   | 92   | 87                            | 91   | 96   | 88                        | 93,5 | 99,5 |
| 4                             | 50                                | 52 | 55   | 81                              | 86   | 89   | 82                            | 87   | 90   | 83                        | 88   | 90   |
| 5                             | 50                                | 52 | 55   | 80,5                            | 86   | 91   | 82,5                          | 86,5 | 90   | 82                        | 87   | 92   |
| 7                             | 64                                | 67 | 69,5 | 68                              | 73,5 | 80   | 76,5                          | 78   | 81   | 74,5                      | 80   | 85,5 |
| 8                             | 54,5                              | 56 | 59   | 72                              | 76,5 | 83   | 74                            | 78   | 82,5 | 80                        | 82   | 85   |
| 9                             | 54                                | 56 | 58,5 | 75,5                            | 81,5 | 88   | 80,5                          | 83   | 88,5 | 82                        | 85,5 | 90,5 |
| 10                            | 52                                | 55 | 58   | 68,3                            | 73   | 79,5 | 70,5                          | 75,5 | 79   | 72,5                      | 80   | 87,5 |
| 14                            | 54                                | 56 | 58   | 85,5                            | 90   | 94   | 90                            | 92,5 | 97   | 92                        | 95   | 99   |
| 15                            | 52                                | 54 | 56   | 77                              | 81   | 85   | 77,5                          | 84,5 | 90   | 77,5                      | 86,5 | 94,5 |
| 17                            | 50                                | 52 | 55   | 77                              | 80   | 84,5 | 77                            | 82   | 86   | 81,5                      | 85   | 88,5 |

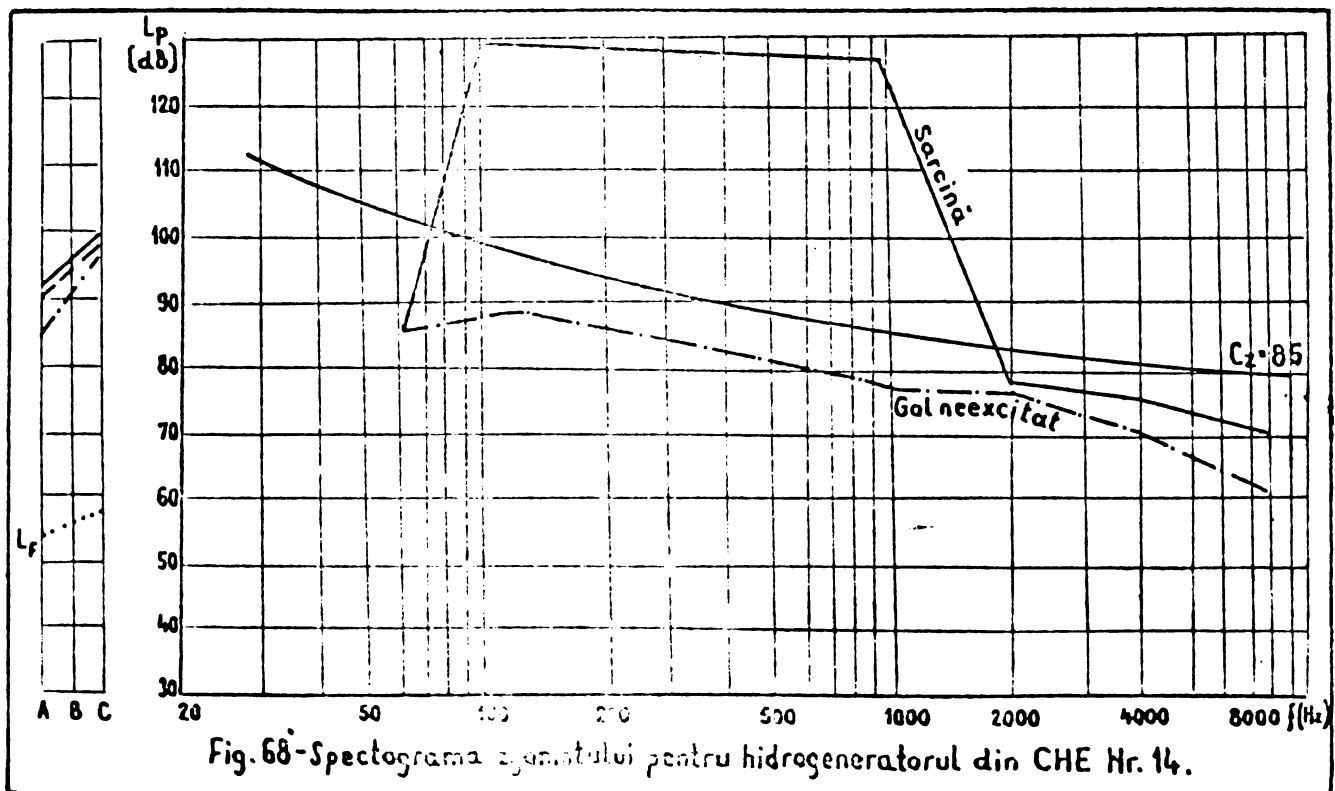
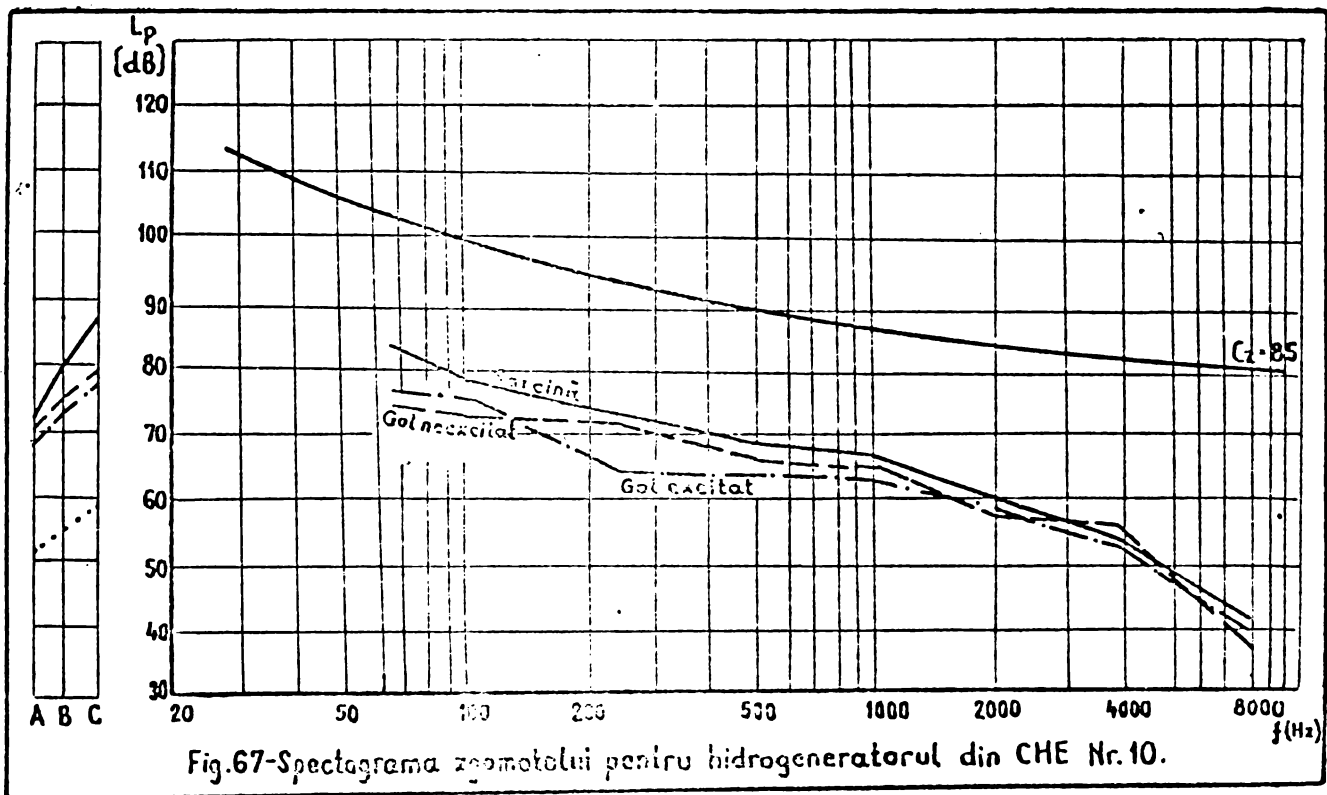
Tabela 20 - Valorile componentelor de zgomot măsurat

| Hidrogena-<br>tor din CHE<br>nr. | Valori totale dB (B) |                       | Cresteri dB (B)     |                 | Valoarea componentelor dB (B) |                              |                         |             |                      |                    |                |
|----------------------------------|----------------------|-----------------------|---------------------|-----------------|-------------------------------|------------------------------|-------------------------|-------------|----------------------|--------------------|----------------|
|                                  | Foud<br>LpF          | Gol neexcit.<br>LpTEN | Gol excit.<br>LpTEE | Sarcina<br>LpTS | Foud -<br>Gol neexcit.        | Gol neexcit.<br>- Gol excit. | Gol excit.<br>- Sarcina | Foud<br>LpF | Gol neexcit.<br>LpGM | Gol excit.<br>LpEE | Sarcina<br>LpS |
| 1                                | 54                   | 82                    | 85                  | 87,5            | 28                            | 3                            | 2,5                     | 54          | 78                   | 82                 | 84             |
| 2                                | 50,5                 | 83                    | 85                  | 88              | 32,5                          | 2                            | 3                       | 50,5        | 77,5                 | 80,5               | 85             |
| 3                                | 53                   | 89                    | 91                  | 93,5            | 46                            | 2                            | 2,5                     | 53          | 89                   | 86,5               | 90             |
| 4                                | 50                   | 86                    | 87                  | 88              | 36                            | 1                            | 1                       | 50          | 79                   | 80                 | 81             |
| 6                                | 50                   | 86                    | 86,5                | 87              | 36                            | 0,5                          | 0,5                     | 50          | 79                   | 77                 | 77,5           |
| 7                                | 67                   | 73,5                  | 78                  | 80              | 6,5                           | 4,5                          | 2                       | 67          | 72                   | 73,5               | 76             |
| 8                                | 54,5                 | 76,5                  | 78                  | 82              | 22                            | 1,5                          | 4                       | 54,5        | 73,5                 | 72,5               | 78             |
| 9                                | 54                   | 81,5                  | 83                  | 85,5            | 27,5                          | 1,5                          | 2,5                     | 54          | 77,5                 | 77,5               | 82             |
| 10                               | 52                   | 73                    | 75,5                | 80              | 21                            | 2,5                          | 4,5                     | 52          | 70                   | 72                 | 75,5           |
| 14                               | 54                   | 90                    | 92,5                | 95              | 36                            | 2,5                          | 2,5                     | 54          | 83                   | 92                 | 91,5           |
| 15                               | 52                   | 81                    | 84,5                | 86,5            | 29                            | 3,5                          | 2                       | 52          | 76                   | 81                 | 82             |
| 17                               | 50                   | 80                    | 82                  | 85              | 30                            | 2                            | 3                       | 50          | 75                   | 77,5               | 82             |

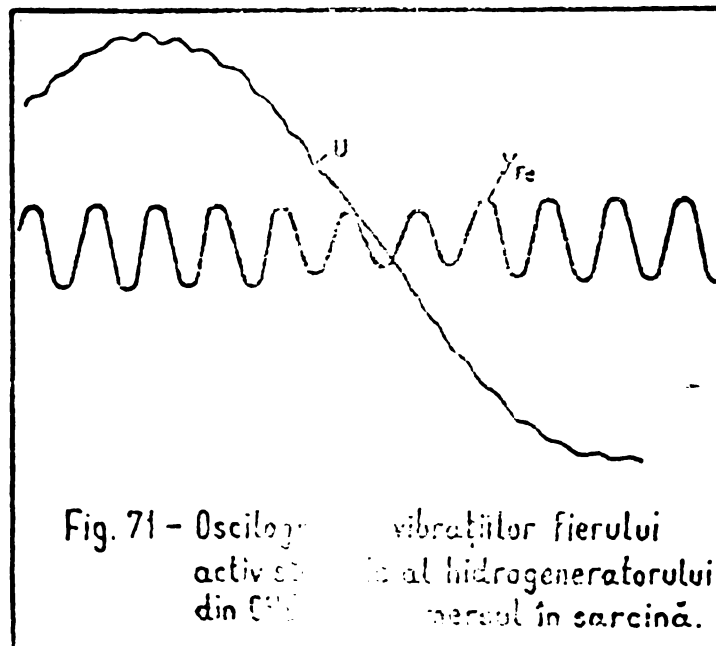
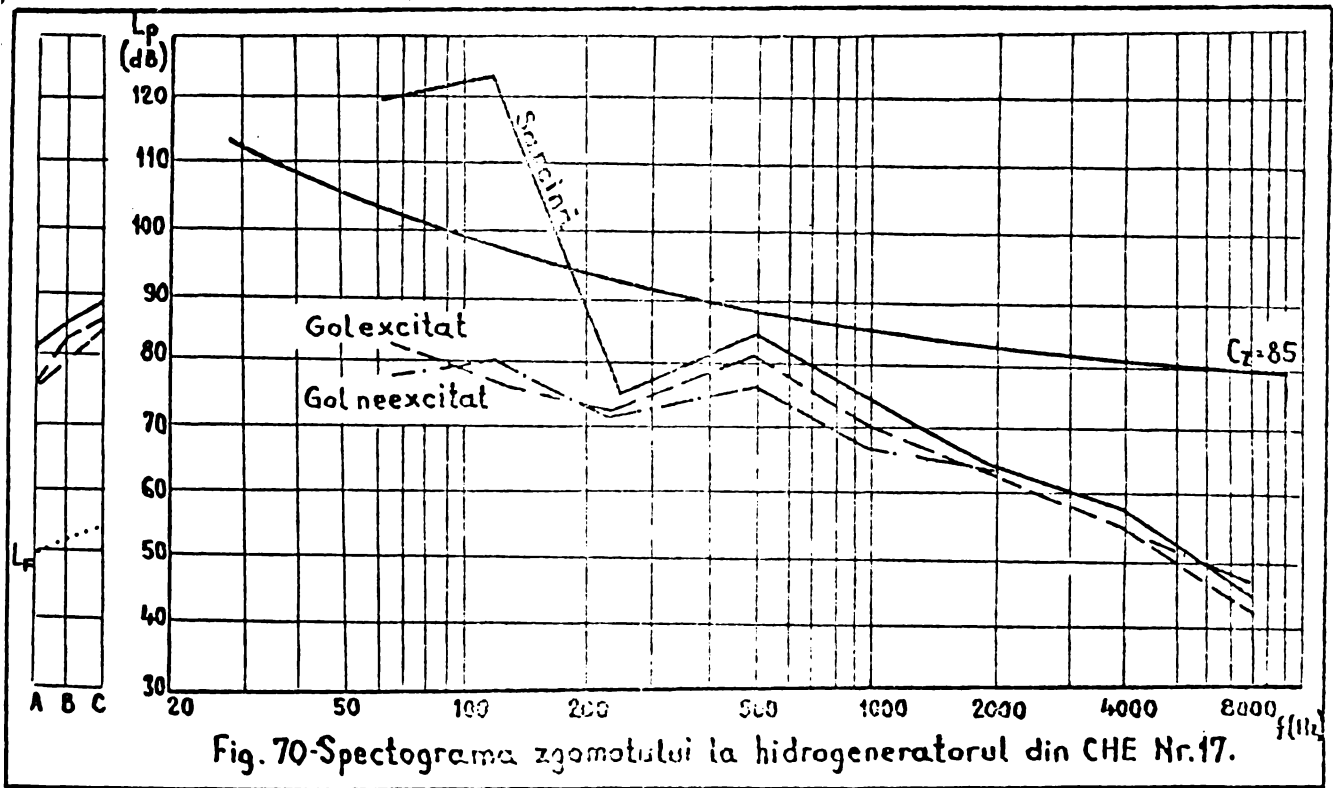
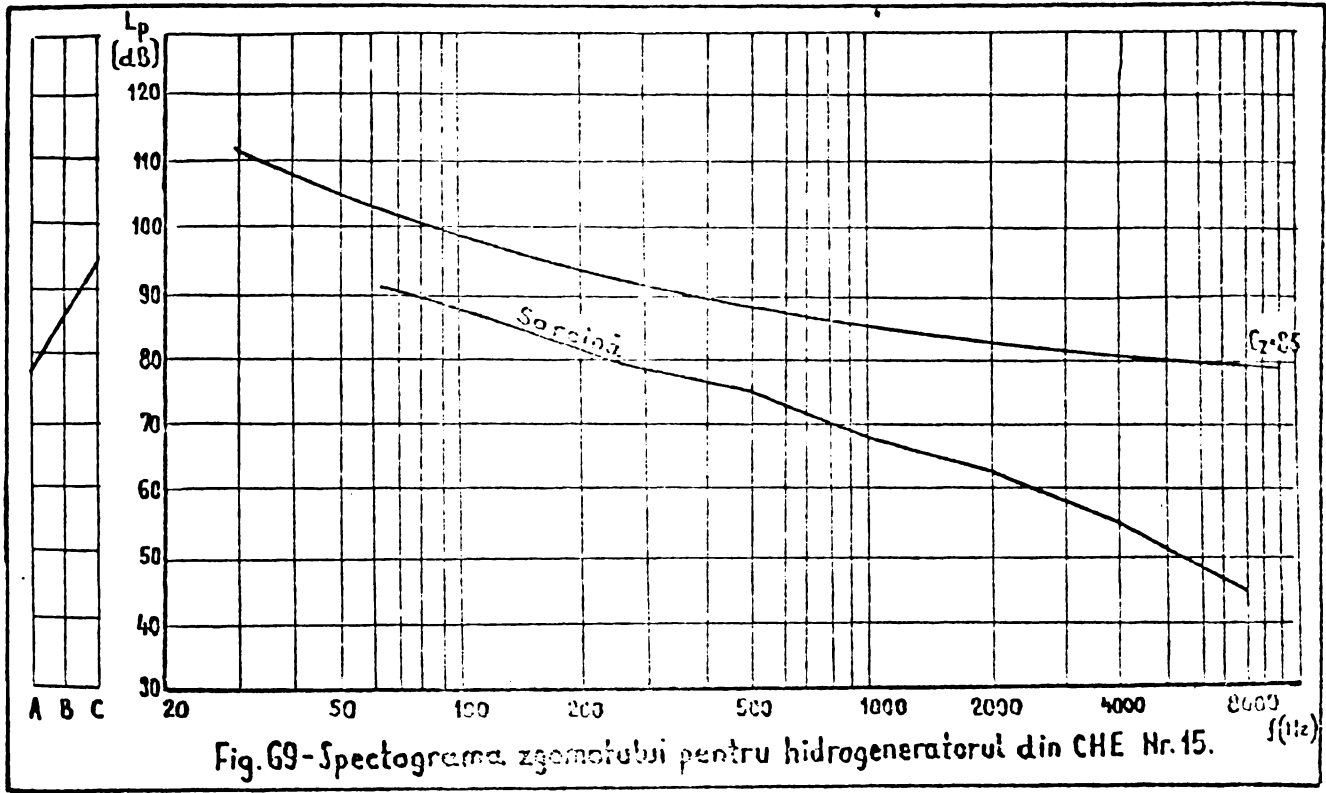


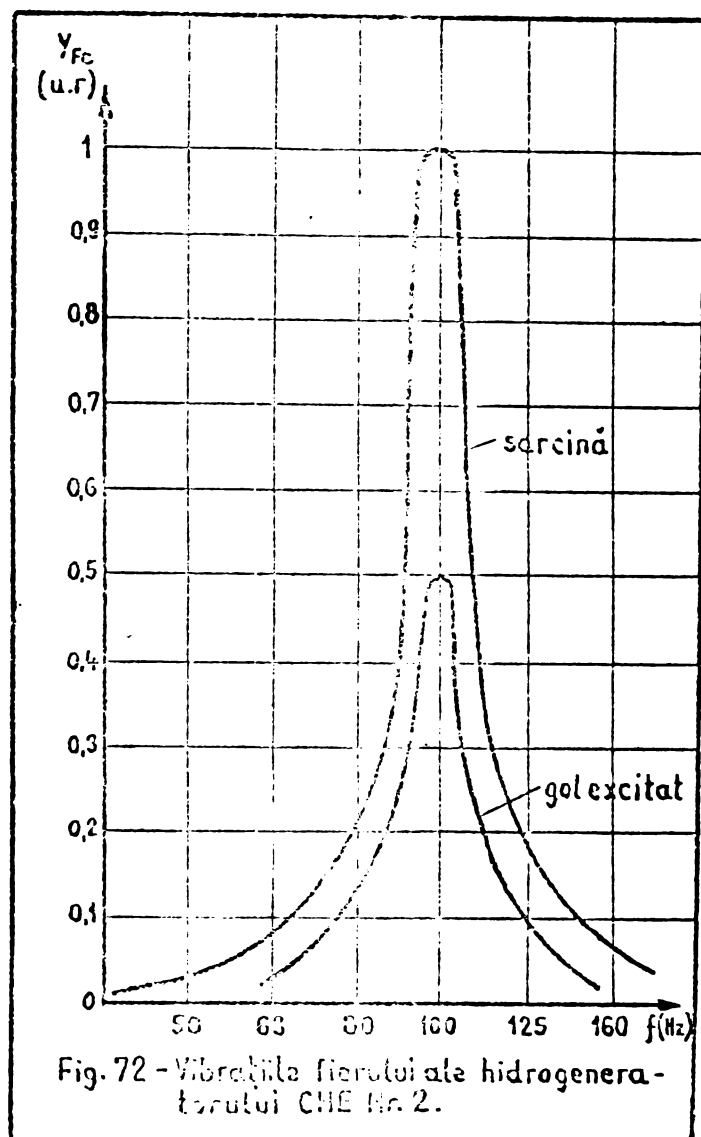












Examinînd rezultatele de mai sus obținute la măsurători pentru cele 12 tipuri de hidrogenatoare, se constată următoarele:

- 4 tipuri de hidrogenatoare au nivelul de zgomot global la mersul în sarcină sub limita admisibilă de 85 dB; 6 tipuri depășesc această limită cu valori cuprinse între 0,5-3 dB, iar 2 tipuri au valori foarte mari (hidrogenatorul din CHE Nr.3 are 95,5 dB, iar cel din CHE Nr.14 are 95 dB);
- 10 tipuri de hidrogenatoare au spectrogramele zgomotului situate sub curba de egală senzație auditivă  $C_z = 85$  dB, care după normele existente se consideră drept limită admisibilă; hidrogenatorul din CHE Nr.14 depășește substanțial curba  $C_z = 85$  dB în domeniul

de frecvențe 75÷1900 Hz, iar cel din CHE Nr. 17 - în domeniul 60÷190 Hz.

- spectrogramele de zgomot au valori maxime pentru frecvențe ale căror valori au fost calculate și prezentate în tablourile undelor de forțe magnetice radiale (tab.22-24, 28-31, 35, 38), după cum urmează:

| Hidrogenerator<br>din CHE Nr. | Frecvența vîrfurilor<br>Hz | Frecvența calculată<br>Hz |
|-------------------------------|----------------------------|---------------------------|
| 1                             | 100÷250                    | 100                       |
| 2                             | 120                        | 100                       |
| 3                             | 120                        | 100                       |
| 7                             | 120;1000                   | 100;900                   |
| 8                             | 60;1000                    | 1000                      |
| 9                             | 60;500÷1000                | 700÷800                   |
| 14                            | 100÷1000                   | 1000÷1100                 |
| 15                            | 70                         | 100                       |
| 17                            | 60÷120;500                 | 100;600                   |

ceea ce confirmă originea electromagnetică a zgomotelor respective; hidrogeneratorul din CHE nr.6 are zgomotul de origine aerodinamică, fapt confirmat de tab.20, de spectrogramă și de tab.27.

- din spectrograma vibrațiilor fierului activ al hidrogeneratorului din CHE Nr.3 rezultă că valorile maxime corespund pentru frecvențele 50, 100, 700 Hz, iar oscilograma vibrațiilor fierului activ statoric al aceluiași hidrogenerator fig.71 rezultă că valorile maxime au loc pentru frecvența de 750 Hz, valori care se regăsesc pe cale de calcul în tabloul undelor de forțe magnetice radiale tab.24 și anume  $f_r = 100; 700; 800$  Hz.
- vibrațiile fierului activ statoric al hidrogeneratorului din CHE Nr.2, prezentate în fig.

72, au valoarea maximă pentru frecvența de 100 Hz, ceea ce dovedește o suprapunere peste unda fundamentală

- 11 hidrogeneratoare au zgomotul produs de origine electromagnetică, iar 1 hidrogenerator (din CHE Nr.6) are zgomotul de origine aerodinamică, așa după cum rezultă din valorile componentelor de zgomot măsurat prezentate în tab.20.

În concluzie rezultă <sup>cu</sup> din cele 12 hidrogeneratoare, 2 hidrogeneratoare satisfac nivelul global admisibil, 10 hidrogeneratoare satisfac curba de egală senzație auditivă  $C_z = 85$  dB, 11 hidrogeneratoare au zgomotul produs de origine electromagnetică, iar 1 hidrogenerator de origine aerodinamică. De asemenea se constată că valorile calculate pentru frecvențele vîrfurilor de zgomot sau vibrații sînt confirmate prin valorile măsurate.

### 6.3. Metodă de calcul a nivelului de zgomot și vibrații

Pe baza analizei procesului de formare a zgomotului la hidrogeneratoare, a factorilor care-l influențează și a relațiilor de apreciere a efectelor, expuse în prezenta lucrare, în cele ce urmează se stabilește o metodă de calcul unitară a nivelului de zgomot și vibrații produs de hidrogeneratoare,

#### 6.3.1 - Forțe magnetice radiale

##### 6.3.1.1 - Tabloul undelor de forțe magnetice radiale

Se întocmește tabloul undelor de forțe magnetice radiale ale armonicilor de cîmp din întrefier, exprimate prin raportul dintre pasul polar al undelor de forță și pasul polar fundamental  $\frac{C_p}{C} = \frac{2p}{\nu 2p - \mu' N_1}$  pentru valorile  $\nu' = 1-25$  și  $\mu' = 0-5$  a căror frecvență se determină cu ajutorul relației  $f_r = \nu' \cdot 2f_n$ .

Se ia în considerare undele de forță cu pasul polar cel mai mare.

#### 6.3.1.2 - Tabloul frecvențelor

Se determină numărul de ordine și frecvența undelor de forțe magnetice radiale pentru cazul cel mai dezavantajos, când apar unde de forță cu pasul cel mai lung, adică pentru  $\nu'2p = \mu'N_1 = 0$ , folosindu-se relațiile (82) și (83):

$$\nu' = \frac{\mu'N_1}{2p} \qquad f_r = \nu' \cdot 2 \cdot f_n$$

Se întocmește tabloul frecvențelor undelor de forțe în funcție de  $\nu'$ ,  $\mu'$  și  $r$ .

#### 6.3.1.3 - Numărul de ordine al armonicilor de câmp

Numărul de ordine al armonicilor de câmp determinate de câmpul roții polare raportat la statorul neted, respectiv de creșterea statorului, se determină cu relațiile:

$$\nu' = 2k' + 1 = 2k - 1$$

$$\nu'' = 2k'' + 1 = 4k - 1$$

unde coeficientul  $k$  este dedus din relația (63), adică:

$$k = \frac{N_1 + r}{2p}$$

Cazul cel mai dezavantajos apare pentru  $r = 0$ , dar se recomandă să se ia în considerare domeniul  $r = 0 \div 5$ , pentru care se calculează frecvența undelor de forțe magnetice radiale cu ajutorul relației (64), adică:

$$f_r = k \cdot 2f_n$$

#### 6.3.1.4 - Amplitudinea forței magnetice radiale specifice, care solicită statorul în funcție de $\alpha_1$

Pentru numărul de ordine  $r$  stabilit, se calculează

valoarea amplitudinii forțelor magnetice radiale specifice, care solicită statorul, în funcție de  $\alpha_i$ , cu ajutorul relației (69), adică:

$$R_{r.sp} = \frac{1}{2\mu_0} B_g^2 \frac{k_c - 1}{2} \sum_{\gamma'} \sum_{\gamma''} \left[ \left( \frac{1}{\gamma'} \right) \cdot \sin\left(\gamma' p \frac{b_i}{2R}\right) \right] \left[ \left( \frac{1}{\gamma''} \right) \cdot \sin\left(\gamma'' p \frac{b_i}{2R}\right) \right]$$

Cu ajutorul acestor valori se trasează curbele  $R_{rsp} = f(\alpha_i)$  prin compunerea cărora se obține forța magnetică rezultantă, care solicită statorul în funcție de  $\alpha_i$ .

### 6.3.1.5 - Amplitudinea forței magnetice radiale specifice, care solicită polul, în funcție de $\alpha_i$

Deformarea jugului rotorului este determinată de forța radială specifică care apare în stator, corespunzătoare tălpii polare, valoare ce se poate calcula cu ajutorul relației (72), adică:

$$R_{rp.sp} = 0,12557 \cdot 10^7 \cdot B_g^2 \cdot (k_c - 1) \frac{\sin\left(N_1 \cdot \alpha_i \frac{\pi}{2p}\right)}{N_1 \cdot \alpha_i \cdot \tau}$$

Se trasează curbele  $R_{rpsp} = f(\alpha_i)$ , care prin compunere dau curba rezultantă a forței magnetice radiale, care solicită polul, în funcție de  $\alpha_i$ .

Prin compunerea curbelor rezultante  $R_{rsp} = f(\alpha_i)$  și  $R_{rpsp} = f(\alpha_i)$  se obține curba rezultantă  $R_{rrez} = f(\alpha_i)$ , care permite determinarea valorii optime a coeficientului de acoperire polară  $\alpha_i$ , corespunzător pentru cazul când forțele radiale se anulează.

Forța  $R_{rpsp} = 0$  dacă este satisfăcută relația (74), adică:

$$\frac{b_i}{\tau} = \frac{\alpha_i \cdot N_1}{2p} = \text{nr. întreg}$$

### 6.3.1.6 - Viteza periferică a undelor de forțe magnetice radiale pe diametrul exterior al fierului activ

Se determină cu relația (84), adică:

$$v_{\gamma'st} = \frac{0,52 \cdot \gamma' \cdot f \cdot D_{a1}}{\gamma' \cdot 2p - \mu' \cdot N_1} = 0,0925 \frac{\tau_{\gamma'}}{\tau} v_{p'st} \cdot \gamma'$$

unde:

$$v_{pst} = \frac{\pi \cdot D_{el} \cdot n}{60}$$

$\frac{v_{\gamma'}}{c}$ , se ia din tabloul undelor de forțe

Dacă:

$v_{\gamma'} < c = 344 \text{ m/sec}$  ..... zgomotul radiat suferă o reducere

$v_{\gamma'} \geq c = 344 \text{ m/sec}$  ..... zgomotul crește cu viteza periferică

6.3.1.7 - Tabloul armonicelor fracționare

- Numărul de ordine al armonicelor fracționare se calculează cu relația (87), adică:

$$\gamma = \frac{d \pm 2k}{d}$$

unde  $k = 0, 1, 2 \dots 10$

Armonicelc pentru care  $(d \pm 2k)$  este divizibil cu 3 nu se ia în considerare.

Armonicelc fracționare cele mai periculoase au numărul de ordine determinat de relațiile (109), adică:

$$\gamma = \frac{d \pm 2}{d} \qquad \gamma = \frac{d \pm 4}{d}$$

- Numărul de ordine și frecvența undelor de forțe magnetice radiale se determină cu relațiile (63) și (64), adică:

$$r = \frac{2p}{d} \left( k - \frac{N_1}{2p} \right) = \frac{2p}{d} \left[ k \cdot d - 3(b \cdot d + c) \right]$$

$$f_r = \gamma \cdot 2f_n = \gamma \cdot 100$$

- Raportul dintre armonica de ordinul  $\gamma$  și fundamentală se poate calcula cu relația (104):

$$K_{\gamma_0} = \frac{F_{rez}}{F_k} = \frac{1}{\xi_1, \gamma}$$

unde  $\xi_1, \xi_2$  sînt factorii de înfăgurare.

Se recomandă următoarele valori admisibile:

$K_{\gamma_0} = 2 \div 3 \%$  ..... hidrogeneratoare fără colivie de amortizare

$K_{\gamma_0} \leq 5 \%$  ..... hidrogeneratoare cu colivie de amortizare

- Frecvența vibrațiilor rotorului se calculează cu relația (114):

$$f_{\gamma_{rot}} = \frac{1}{2\pi} (\gamma \pm 1)$$

Cu ajutorul acestor valori se întocmește tabloul armonicelor fracționare pentru  $k = 0, 1, 2$ .

### 6.3.2 - Vibrațiile statorului

#### 6.3.2.1 - Ajustaj cu joc între fierul activ statoric și bobine

- Frecvența oscilațiilor proprii ale fierului activ se determină cu relațiile (122), (123), (124), adică:

$$f_{cfe} = \frac{0,18 \cdot 10^{-2} \sqrt{E_{fe} \cdot \eta_{j1}}}{R_{j1}} \quad \text{pentru } r = 0$$

$$f_{1fe} = f_{cfe} \sqrt{2 \frac{1+4\varepsilon}{1+3\varepsilon}} \quad \text{pentru } r = 1$$

$$f_{rfe} = f_{cfe} \cdot F_r \frac{h_{j1}}{R_{j1}^2} \frac{1}{\sqrt{12 \cdot k_\varepsilon}} \quad \text{pentru } r \geq 2$$

unde :

$F_r$  - se obține din fig.14 sau tab.6.

$h_{j1}, R_{j1}$  - înălțimea, respectiv raza medie a jugului sta-

$$\eta_{j1} = \frac{G_{j1}}{...}$$

$$k_\varepsilon = 1 + 2,74 \varepsilon$$

$$\varepsilon = \frac{1}{12} \left( \frac{h_{j1}}{R_{j1}} \right)^2$$



toric.

- Amplitudinea vibrației radiale a jugului fierului activ pentru cazul când  $q = \text{întreg}$ , respectiv  $q = \text{fracționar}$ , se calculează cu ajutorul relațiilor (120) și (121), adică:

$$Y_{rFe} = 0,1177 \cdot 10^7 \cdot \Psi_r \cdot \alpha_L \cdot B_c^2 \cdot D \cdot \frac{L}{L_{Fe}} \left( \frac{R_{j1}}{h_{j1}} \right)^3 \frac{K_E \cdot K_d}{E_{Fe}}$$

$$Y_{rFe} = 0,1177 \cdot 10^7 \cdot \Psi_r \cdot \alpha_L \cdot B_c^2 \cdot D \cdot \frac{L}{L_{Fe}} \left( \frac{R_{j1}}{h_{j1}} \right)^3 \frac{K_E \cdot K_d \cdot K_f}{E_{Fe}}$$

unde:

$$\Psi_r = \frac{1}{(r^2 - 1)^2}, \text{ curbele sînt prezentate în fig.14}$$

$$K_d = \frac{1}{1 - \left( \frac{f_r}{f_{rFe}} \right)^2}, \text{ factorul dinamic.}$$

$f_r, f_{rFe}$  - frecvența undelor de forțe magnetice radiale de ordinul  $r$ , respectiv frecvența de oscilații proprii ale fierului activ.

$$K_f = \alpha_{ad} \cdot K_{f0} \quad K_{f0} = \frac{S_{\gamma}}{S_{\gamma} \cdot \gamma}$$

$x_{ad}$  - reactanța de reacție a indusului după axa longitudinală

$E_{Fe}$  - modulul de elasticitate al fierului activ.

### 6.3.2.2 - Ajustaj rigid între fierul activ statoric și carcasă

- Frecvența oscilațiilor proprii ale carcasei este conform (126):

$$f_{rcar} = \frac{1}{2\pi} \cdot F_r \sqrt{\frac{2\pi}{\lambda_{car} \cdot G_{car}}}$$

unde  $\lambda_{car}$ ,  $G_{car}$  este elasticitatea, respectiv masa totală a carcasei.

- Frecvența oscilațiilor proprii ale statorului în ansamblu este conform relației (127):

$$f_{rst} = \sqrt{f_{rFe}^2 \cdot \eta_{Fe} + f_{car}^2 \cdot \eta_{car}}$$

unde

$$\eta_{Fe} = \frac{G_{Fe}}{G_{Fe} + G_{car}} \quad \eta_{car} = \frac{G_{car}}{G_{Fe} + G_{car}}$$

$G_{car}$  - masa carcusei

- Amplitudinea vibrației statorului în ansamblu este conform relației (125):

$$Y_{rst} = Y_{rFe} \frac{K_d'}{K_d} \frac{\lambda_{car}}{\lambda_{st} + \lambda_{car}}$$

unde  $\lambda_{car}$  - este elasticitatea carcusei .

- Frecvența reală a oscilațiilor proprii se va afla în domeniul:

$$f_{rFe} \leq f_{rpr} \leq f_{rst}$$

dar mai aproape de  $f_{rst}$

Pentru evitarea fenomenului de rezonanță rezultă condițiile ;

$$f_{rpr} \neq f_r$$

$$f_{rpr} \neq 100 \text{ Hz}$$

Frecvențele oscilațiilor proprii și amplitudinile vibrațiilor se calculează pentru  $r = 0, 2, 3, 4, 5, \frac{2p}{d}, (2p-N_1)$  , adică pentru undele de forțe magnetice radiale determinate de armonici și de fundamentală.

### 6.3.3 - Zgomotul electromagnetic

- Nivelul de presiune sonoră al componentei de zgomot electromagnetic de ordinul  $r$ , se poate calcula cu relația (141):

$$L_{pr} = 20 \log \left[ 9,1 \cdot 10^7 \cdot f_r \cdot \sqrt{P_{rel,r} \cdot Y_r} \right] \quad [dB]$$

unde  $f_r$  este frecvența undelor de forțe magnetice radiale, iar  $Y_r$  este amplitudinea simplă a oscilațiilor proprii a ansamblului din stator.

Nivelul de zgomot se calculează pentru  $r=0,2,3,4,5, 2p, 2p-N_1$ , adică pentru frecvențele  $f_r$  și amplitudinile vibrațiilor proprii  $Y_r$  determinate de armonice și de fundamentală. În cazul din urmă  $f_r = 100$  Hz.

Valoarea componentei rezultante se obține prin însumarea componentelor parțiale de ordinul  $r$ , cu ajutorul relației (20):

$$L_{pe} = L_{pr} + \Delta L_{pr}$$

unde  $L_{pr}$  se obține din fig.3.

Amplitudinea vibrației  $Y_r$  se poate determina pentru cele două cazuri limită și anume:

- Ajustaj cu joc între fierul activ și carcasă, deci strângere nulă - corespunde  $Y_{rFe}$  - relația (120), (121);
- Ajustaj cu strângere între fierul activ și carcasă, deci strângere maximă - corespunde  $Y_{rst}$  - relația (125)

În realitate amplitudinea vibrației se situează în interiorul domeniului determinat de cele două limite, dar mai aproape de  $Y_{rst}$ .

Determinarea pe bază de calcul a valorii reale a amplitudinii vibrației nu este posibilă deoarece pe de o parte nu există certitudine că ajustajul dintre fierul activ și carcasă, prescris în proiect este realizat în fabricație, iar pe de altă parte ajustajul realizat în cursul procesului de fabricație și montaj nu poate fi măsurat.

Pentru rezolvarea acestei probleme se propune de către autor metoda de calcul expusă în cele ce urmează.

Se calculează nivelul de zgomot pentru cele două limite, adică  $L_{prFe}$  și  $L_{prst}$ , pentru care strângerea dintre fierul activ și carcasă este de  $S=0\%$  respectiv  $S=100\%$ . Pentru un număr de hidrogenatoare realizate se masoară nivelul de zgomot la regimul de mers în gol excitat  $L_{ptGE}$  și se determină componenta de zgomot electromagnetic respectivă  $L_{pGE}$ , care se situează în domeniul determinat de cele două limite. Se calculează strângerea realizată practic, definită prin:

$$S_r = \frac{L_{pFe} - L_{pGE}}{L_{pFe} - L_{pst}} \quad (194)$$

Cu ajutorul acestei strângeri se poate determina componenta nivelului de zgomot la regimul de mers în gol excitat, sub forma:

$$\begin{aligned} L_{pGE} &= L_{pFe} - S_r (L_{pFe} - L_{pst}) = \\ &= (1 - S_r) L_{pFe} + S_r \cdot L_{pst} \quad [dB] \quad (195) \end{aligned}$$

- Nivelul de intensitate sonoră la distanța de 1 m de la suprafața laterală la punctul de măsură, conform relației (143) este:

$$L_1 = 10 \log P_{ac} + 20 \log n \cdot 60 + K \quad [dB]$$

unde:

$P_{ac}$  - puterea activă nominală

$n$  - turația nominală

$K$  - coeficientul de corecție determinat experimental

#### 6.3.4 - Zgomotul aerodinamic

- Nivelul de putere acustică determinat de ventilatoare se obține din fig.20 pentru valoarea  $[10 \log d_2^2 \cdot n^6]$ .

- Nivelul de presiune sonoră la distanța de 1 m, determinat de ventilatoare, este conform relației (151):

$$L_{pv} = L_{2v} - 14 \quad [dB]$$

- Turația specifică a ventilatorului se determină cu ajutorul relației (156), adică:

$$n_s = 23,27 \frac{\sqrt{Q_a}}{\sqrt[4]{H_a^3}} n$$

unde:

$Q_a$  - debitul de aer

$H_a$  - presiunea aerului

Avînd valoarea turației specifice, cu ajutorul fig. 23 se face alegerea corectă a tipului de ventilator.

#### 6.3.5. Zgomotul total

Nivelul de zgomot total se calculează cu ajutorul relației (20):

$$L_{pt} = L_{pem} + \Delta L_p$$

aplicată în mod succesiv, pentru toate cele trei componente  $L_{pem}$ ,  $L_{pa}$ ,  $L_{pm}$ , pentru care  $\Delta L_p$  se obține din fig.3.

#### 6.4 - Calculul zgomotului și vibrațiilor efectuat pentru toate hidrogenatoarele sincrone proiectate la I.C.P.E.H.

Pe baza metodei de calcul prezentată în cap.6.3. se efectuează calculul zgomotului și vibrațiilor, pentru toate cele 24 tipuri de hidrogenatoare verticale sincrone proiectate la ICPEH.

Datele tehnice ale acestor hidrogenatoare, necesare pentru efectuarea acestor calcule, sînt prezentate în tab.21.

### 6.4.1 - Forțele magnetice radiale

#### 6.4.1.1 - Tabloul undelor de forțe magnetice radiale

Se întocmesc tablourile undelor de forțe magnetice radiale ale armonicelor din întrefier exprimate prin raportul dintre pasul polar al undelor de forță și pasul polar fundamental, luându-se în considerare numai undele de forță cu pasul polar cel mai mare, pentru care sînt calculate frecvențele respective. Valorile calculate sînt prezentate în tab.22-45.

#### 6.4.1.2 - Tabloul frecvențelor

Se calculează frecvențele undelor de forțe magnetice radiale pentru cazul cel mai dezavantajos, cînd  $\nu'2p - \mu'N_1 = 0$ .

De asemenea se determină frecvențele undelor de forțe magnetice radiale pentru numărul de ordine:

$$r = 2p, \frac{2p}{d}, c, 1, 2, 3, 4, 5$$

Valorile acestor frecvențe sînt prezentate în tab. 46,47.

#### 6.4.1.3 - Numărul de ordine al armonicelor de cîmp

Se determină numărul de ordine al armonicelor de cîmp produse de cîmpul roții polare raportat la statorul neted, respectiv de creșterea statorului, pentru cazul cel mai dezavantajos cînd  $r=0$ . Valorile calculate sînt prezentate în tab.48.

#### 6.4.1.4 - Amplitudinea forței magnetice radiale specifice a statorului

Se calculează amplitudinea forței magnetice radiale specifice, care soliciță statorul, în funcție de  $\alpha_i$  pentru cazul cel mai dezavantajos cînd  $r=0$ . Valorile calculate sînt prezentate în tab.48. Cu ajutorul acestor valori se trasează curbele  $R_{osp} = f(\alpha_i)$  prezentate în fig.73-96.

#### 6.4.1.5 - Amplitudinea forței magnetice radiale specifice a polului

Pentru același caz, când  $r=0$ , se calculează amplitudinea forței magnetice radiale specifice, care solicită polul, în funcție de  $\alpha_i$ , iar valorile calculate sînt prezentate în tab.48, cu ajutorul cărora se trasează curbele  $R_{\text{psp}} = f(\alpha_i)$  prezentate în fig.73-96.

Prin compunerea celor două curbe  $R_{\text{osp}} = f(\alpha_i)$  și  $R_{\text{psp}} = f(\alpha_i)$  se obține curba rezultantă  $R_{\text{rez}} = f(\alpha_i)$ , cu ajutorul căreia se determină valoarea optimă a coeficientului de acoperire polară  $\alpha_i$ , care sînt prezentate de asemenea în tab.48 unde sînt expuse și valorile coeficientului  $\alpha_i$  adoptat în proiecte.

#### 6.4.1.6 - Viteza periferică a undelor de forțe magnetice radiale

Viteza periferică a undelor de forțe magnetice radiale pe diametrul exterior al fierului activ statoric are valorile prezentate în tab.48. Pentru cazurile unde  $v_{\text{st}} < 344$  m/sec. zgomotul radiat va suferi o diminuare, iar pentru cazurile unde  $v_{\text{st}} \geq 344$  m/sec. zgomotul radiat va crește cu viteza periferică.

#### 6.4.1.7 - Tabloul armonicelor fracționare

Pentru hidrogenatoarele care au înfășurări fracționare se calculează toate mărimile care caracterizează armonicile fracționare adică  $\gamma$ ,  $K_{\gamma 0}$ ,  $f_r$ ,  $f_{\gamma \text{rot}}$  ale căror valori sînt prezentate în tab.49.

#### 6.4.2 - Vibrațiile statorului

Calculul vibrațiilor statorului constă în determinarea frecvențelor de oscilație proprie în vederea evitării fenomenului de rezonanță cu frecvențele undelor de forțe magnetice radiale și a amplitudinilor vibrațiilor care sînt nece-

sare pentru evaluarea nivelului de zgomot. Aceste mărimi se calculează pentru cele două cazuri limită și anume:

- Ajustaj cu joc între fierul activ și carcasă,
- Ajustaj rigid între fierul activ și carcasă.

iar valorile obținute sînt prezentate în tab.50-52 și tab.54-63. Frecvențele de rezonanță determinate de armonicile fracționare sînt prezentate în tab.53.

#### 6 .4.3 - Zgomotul electromagnetic

- Nivelul de zgomot determinat de armonicile de cîmp, deci pentru  $f_r \neq 100$  Hz, în cazul ajustajului cu joc  $L_{prFe}$ , respectiv cu strîngere  $L_{prst}$  are valorile prezentate în tab.64-65, iar cel determinat de fundamentală deci pentru  $f_r = 100$  Hz, pentru cele două cazuri limită  $L_{prFe0}$  și  $L_{prsto}$  are valorile prezentate în tab.66-67.

- Valorile componentelor predominante și nivelul de zgomot electromagnetic rezultat pentru cele două cazuri limită sînt prezentate în tab.68.

- Valorile strîngerilor realizate între fierul activ și carcasă, determinate cu ajutorul nivelului de zgomot măsurat la 12 tipuri distincte de hidrogenatoare aflate în exploatare, sînt prezentate în tab.69. Reprezentarea acestor strîngeri se face în fig.99, de unde rezultă următoarele valori caracteristice:

$$S_{rmin} = 90,8 \%$$

$$S_{rmed} = 94 \%$$

$$S_{rmax} = 97,6 \%$$

- Nivelul de zgomot electromagnetic  $L_{pem}$  calculat pentru strîngerea medie  $S_r = 0,94$  are valorile prezentate în tab.68.

- Nivelul de intensitate sonoră  $L_I$ , la distanța de



1 m de la suprafața laterală la punctul de măsură, corectat cu coeficientul  $K$  determinat experimental, este reprezentat grafic în fig.101, de unde pentru unele hidrogenatoare sînt extrase valorile prezentate în tab.71.

#### 6.4.4 - Zgomotul aerodinamic

Nivelul de presiune sonoră la distanța de 1 m, determinat de ventilatoare  $L_{pv}$ , turația specifică  $n_s$  și tipul de ventilator indicat, sînt prezentate în tab.70.

#### 6.4.5 - Zgomotul total

Valorile calculate ale nivelului de zgomot total la regimul de mers în gol excitat, sînt prezentate în tab.71 în care sînt calculate și abaterile valorilor calculate față de cele măsurate. În fig.100 sînt reprezentate abaterile valorilor calculate pentru  $L_{pem}$ ,  $L_{pt}$  și  $L_i$  față de cele măsurate.

Tabela 21 - Datele tehnice ale hidrogenatoarelor verticale  
sincrone

| Nr. curent<br>hidrogenator | $P_{ap}$<br>(KVA) | $n$<br>(rpm) | $2p$<br>(poli) | $D_{al}$<br>(mm) | $D$<br>(mm) | $L$<br>(mm) | $L_{Fe}$<br>(mm) | $\tau$<br>(mm) |
|----------------------------|-------------------|--------------|----------------|------------------|-------------|-------------|------------------|----------------|
| 1.                         | 8500              | 250          | 24             | 3750             | 3300        | 1000        | 754              | 432            |
| 2.                         | 12500             | 136,4        | 44             | 6020             | 5600        | 950         | 735              | 400            |
| 3.                         | 6200              | 214,3        | 28             | 4150             | 3750        | 650         | 512              | 421            |
| 4.                         | 25000             | 166,7        | 36             | 6380             | 5800        | 1000        | 753              | 505            |
| 5.                         | 5000              | 428,6        | 14             | 2750             | 2250        | 820         | 632              | 505            |
| 6.                         | 25500             | 300          | 20             | 4200             | 3600        | 1250        | 976,5            | 565,2          |
| 7.                         | 4300              | 136,4        | 44             | 4240             | 3900        | 450         | 418              | 278,5          |
| 8.                         | 8850              | 214,3        | 28             | 3820             | 3400        | 880         | 679              | 381,5          |
| 9.                         | 26000             | 100          | 60             | 8000             | 7500        | 950         | 744              | 392,5          |
| 10.                        | 21000             | 93,75        | 64             | 7950             | 7500        | 900         | 707              | 368            |
| 11.                        | 42500             | 107          | 56             | 8400             | 7900        | 1000        | 788              | 443            |
| 12.                        | 90000             | 600          | 10             | 3900             | 3050        | 2150        | 1700             | 960            |
| 13.                        | 85000             | 428,6        | 14             | 4630             | 3730        | 1600        | 1265             | 835            |
| 14.                        | 185000            | 375          | 16             | 5600             | 4600        | 2450        | 1900             | 903            |
| 15.                        | 190000            | 71,5         | 34             | 14880            | 14190       | 1750        | 1340             | 531            |
| 16.                        | 5800              | 600          | 10             | 2600             | 2100        | 550         | 420              | 660            |
| 17.                        | 6400              | 166,7        | 36             | 4260             | 3894        | 660         | 521              | 340            |
| 18.                        | 81000             | 600          | 10             | 3900             | 3000        | 1790        | 1396             | 942,47         |
| 19.                        | 186000            | 500          | 12             | 4900             | 3850        | 2500        | 1960             | 1007,9         |
| 20.                        | 34000             | 750          | 8              | 2380             | 2100        | 1590        | 1200             | 824,6          |
| 21.                        | 62000             | 375          | 16             | 4230             | 3550        | 1670        | 1352             | 697            |
| 22.                        | 30000             | 100          | 60             | 7935             | 7500        | 950         | 744              | 392,5          |

|     |       |       |    |      |      |      |       |     |
|-----|-------|-------|----|------|------|------|-------|-----|
| 23. | 22000 | 93,75 | 64 | 7880 | 7500 | 875  | 684   | 368 |
| 24. | 19400 | 187,5 | 32 | 4770 | 4300 | 1050 | 857,5 | 422 |

| No. crest<br>pitching. | $N_1$<br>(crest.) | $q$<br>(crest/pitch) | $t_1$<br>(mm) | $\frac{2p}{d}$ | $\frac{S}{\sigma}$<br>(u.r) | $\frac{f_1}{\sigma}$<br>(u.r) | $\alpha_{ad}$<br>(u.r) | $B_g$<br>(Tesla) |
|------------------------|-------------------|----------------------|---------------|----------------|-----------------------------|-------------------------------|------------------------|------------------|
| 1.                     | 270               | 3 3/4                | 33,4          | 6              | 0,8                         | 0,913                         | 0,92                   | 0,72             |
| 2.                     | 312               | 2 4/11               | 56,4          | 4              | 0,846                       | 0,932                         | 0,717                  | 0,718            |
| 3.                     | 210               | 2 1/2                | 56,2          | 14             | 0,8                         | 0,962                         | 0,81                   | 0,637            |
| 4.                     | 324               | 3                    | 56,2          | -              | 0,78                        | 0,903                         | 0,845                  | 0,7095           |
| 5.                     | 132               | 3 1/7                | 53,5          | 2              | 0,849                       | 0,935                         | 0,788                  | 0,636            |
| 6.                     | 210               | 3 1/2                | 51,5          | 10             | 0,857                       | 0,9359                        | 0,982                  | 0,779            |
| 7.                     | 360               | 2 6/11               | 34            | 4              | 0,855                       | 0,935                         | 0,878                  | 0,605            |
| 8.                     | 288               | 3 3/7                | 37,1          | 4              | 0,834                       | 0,942                         | 0,829                  | 0,725            |
| 9.                     | 432               | 2 2/5                | 54,5          | 9              | 0,833                       | 0,93                          | 0,72                   | 0,722            |
| 10.                    | 504               | 2 5/8                | 46,8          | 8              | 0,86                        | 0,94                          | 0,668                  | 0,706            |
| 11.                    | 612               | 3 9/14               | 40,5          | 4              | 0,824                       | 0,919                         | 0,842                  | 0,838            |
| 12.                    | 180               | 6                    | 53,2          | -              | 0,835                       | 0,925                         | 0,912                  | 0,9104           |
| 13.                    | 126               | 3                    | 93            | -              | 0,89                        | 0,945                         | 0,845                  | 1                |
| 14.                    | 168               | 3 1/2                | 86            | 8              | 0,857                       | 0,975                         | 0,91                   | 0,9959           |
| 15.                    | 756               | 3                    | 59            | -              | 0,778                       | 0,902                         | 0,916                  | 0,734            |
| 16.                    | 144               | 4 4/5                | 45,8          | 2              | 0,833                       | 0,925                         | 0,925                  | 0,745            |
| 17.                    | 216               | 2                    | 56,6          | -              | 0,833                       | 0,9215                        | 0,662                  | 0,7475           |
| 18.                    | 120               | 4                    | 78,54         | -              | 0,833                       | 0,925                         | 1,097                  | 0,8948           |
| 19.                    | 144               | 4                    | 84            | -              | 0,833                       | 0,926                         | 1,047                  | 0,93             |
| 20.                    | 108               | 4 1/2                | 86            | 4              | 0,81                        | 0,915                         | 1,095                  | 0,8367           |
| 21.                    | 228               | 4 3/4                | 48,914        | 4              | 0,86                        | 0,93                          | 0,964                  | 0,8306           |
| 22.                    | 432               | 2 2/5                | 54,5          | 12             | 0,833                       | 0,93                          | 0,84                   | 0,722            |
| 23.                    | 504               | 2 5/8                | 46,8          | 8              | 0,86                        | 0,94                          | 0,693                  | 0,717            |
| 24.                    | 300               | 3 1/8                | 45            | 4              | 0,827                       | 0,925                         | 0,786                  | 0,8335           |

| Nr. current & hidrogenerasi | $K_o$  | $h_{j1}$<br>(mm) | $R_{j1}$<br>(mm) | $\alpha_i$ | $b_p$<br>(mm) | $\frac{b_i}{t_l}$<br>(u.r) | $\lambda_{j1}$<br>$(\frac{m}{N})$ | $\lambda_{car}$<br>$\times 10^{-7} (\frac{m}{N})$ |
|-----------------------------|--------|------------------|------------------|------------|---------------|----------------------------|-----------------------------------|---|
| 1.                          | 1,2    | 122              | 1814             | 0,71       | 307           | 8                          | 0,533                             | 1,1216  |
| 2.                          | 1,21   | 110              | 3010             | 0,715      | 286           | 5,07                       | 3,411                             | 1,3154  |
| 3.                          | 1,19   | 126              | 2025             | 0,725      | 302           | 5,37                       | 0,9922                            | 0,9534  |
| 4.                          | 1,218  | 140,7            | 3115             | 0,714      | 360           | 6,4                        | 1,7631                            | 1,3256  |
| 5.                          | 1,21   | 140              | 1235             | 0,72       | 364           | 6,8                        | 0,13256                           | 1,3868  |
| 6.                          | 1,197  | 161              | 2019,5           | 0,69       | 390           | 7,28                       | 0,2478                            | 0,9687  |
| 7.                          | 1,295  | 69,7             | 2085             | 0,7        | 195           | 5,75                       | 7,8518                            | 1,2236  |
| 8.                          | 1,267  | 95               | 3720             | 0,721      | 275           | 7,4                        | 10,82                             | 1,2338  |
| 9.                          | 1,22   | 104,7            | 4000             | 0,705      | 277           | 5,1                        | 9,1713                            | 2,3453  |
| 10.                         | 1,21   | 93,7             | 3975             | 0,7        | 258           | 5,5                        | 13,2135                           | 3,0183  |
| 11.                         | 1,192  | 142              | 4129             | 0,745      | 330           | 8,15                       | 3,8178                            | 3,1713  |
| 12.                         | 1,14   | 329              | 1815             | 0,73       | 700           | 13,15                      | 0,0122                            | 0,3569  |
| 13.                         | 1,223  | 310              | 2161             | 0,73       | 610           | 6,55                       | 0,0326                            | 0,3467  |
| 14.                         | 1,032  | 323,7            | 2638             | 0,72       | 650           | 7,55                       | 0,0346                            | 0,3569  |
| 15.                         | 1,168  | 162              | 7359             | 0,716      | 380           | 6,45                       | 8,5595                            | 0,3569  |
| 16.                         | 1,203  | 152              | 1300             | 0,67       | 442           | 7,95                       | 0,1825                            | 1,4276  |
| 17.                         | 1,334  | 84               | 2046             | 0,66       | 224           | 3,96                       | 3,3936                            | 1,07  |
| 18.                         | 1,1013 | 295,5            | 1802,5           | 0,67       | 630           | 8,04                       | 0,0204                            | 1,6825  |
| 19.                         | 1,1    | 358              | 2271             | 0,724      | 730           | 8,7                        | 0,0163                            | 0,3569  |
| 20.                         | 1,13   | 255              | 1312,5           | 0,67       | 550           | 6,4                        | 0,01427                           | 0,2345  |
| 21.                         | 1,1056 | 212,7            | 2000,3           | 0,76       | 530           | 10,8                       | 0,0755                            | 0,3212  |
| 22.                         | 1,208  | 99,2             | 3967,5           | 0,705      | 277           | 5,09                       | 10,5225                           | 2,65  |
| 23.                         | 1,197  | 91,2             | 3940             | 0,7        | 258           | 5,51                       | 14,425                            | 2,273   |
| 24.                         | 1,211  | 122              | 2369             | 0,75       | 316           | 7,02                       | 1,0452                            | 1,0197  |

| No. Urutan | $G_{j1}$<br>(kg) | $G_{Fe1}$<br>(kg) | $G_{Cu1}$<br>(kg) | $G_{car}$<br>(kg) | $d_{2v}$<br>(mm) | $Q_a$<br>( $m^3/s$ ) | $H_a$<br>( $\frac{N}{m^2}$ ) | $r=2p-N_1$ |
|------------|------------------|-------------------|-------------------|-------------------|------------------|----------------------|------------------------------|------------|
| 1.         | 7650             | 11170             | 2730              | 14416             | 3190             | 11                   | 392                          | - 246      |
| 2.         | 11950            | 17690             | 4480              | 24200             | 5520             | 30                   | 314                          | - 268      |
| 3.         | 5040             | 7640              | 600               | 15000             | 3630             | 19,6                 | 515                          | - 182      |
| 4.         | 16650            | 26100             | 5660              | 29700             | 5580             | 48                   | 598                          | - 298      |
| 5.         | 5850             | 8070              | 1410              | 7800              | 2228             | 15                   | 677                          | - 118      |
| 6.         | 15540            | 23150             | 4125              | 12312             | 3000             | 22                   | 382,5                        | - 190      |
| 7.         | 3200             | 5250              | 1900              | 5600              | 3325             | 7,6                  | 278,5                        | - 316      |
| 8.         | 6190             | 9850              | 2242              | 8400              | 3210             | 11,2                 | 353                          | - 260      |
| 9.         | 15500            | 26350             | 7400              | 24000             | 7430             | 29                   | 392                          | - 372      |
| 10.        | 13100            | 22100             | 5960              | 25000             | 7370             | 27,5                 | 433,5                        | - 440      |
| 11.        | 22500            | 32400             | 7500              | 27700             | -                | -                    | -                            | - 556      |
| 12.        | 48600            | 58850             | 5820              | 21800             | 2738             | 54,5                 | 1491                         | - 170      |
| 13.        | 40400            | 52940             | 6100              | 22500             | 3300             | 49,2                 | 1461                         | - 112      |
| 14.        | 79550            | 109630            | 11157             | 21885             | 4080             | 100                  | 1540                         | - 152      |
| 15.        | 48000            | 126500            | 34800             | 127215            | -                | 108                  | 235,4                        | - 672      |
| 16.        | 3840             | 5110              | 2300              | 5327              | 1600             | 6,7                  | 294                          | - 134      |
| 17.        | 4170             | 7330              | 1640              | 9400              | 3770             | 11                   | 316                          | - 180      |
| 18.        | 41450            | 53000             | 6330              | 21700             | 2600             | 52                   | 1336                         | - 110      |
| 19.        | 76500            | 98300             | 10000             | 32000             | 3450             | 92                   | 1814                         | - 132      |
| 20.        | 19700            | 25850             | 3180              | 11000             | 1870             | 32,5                 | 1550                         | - 100      |
| 21.        | 28000            | 37000             | 5450              | 13800             | 3290             | 21,8                 | 1079                         | - 212      |
| 22.        | 14500            | 23200             | 8450              | 24000             | 7450             | 29                   | 392                          | - 372      |
| 23.        | 12260            | 18800             | 5800              | 23000             | 7430             | 25,6                 | 343                          | - 440      |
| 24.        | 12000            | 18270             | 3100              | 15000             | 4144             | 18                   | 784,5                        | - 268      |

Tabela 22 - Hidrogeneratorul Nr. 1

| $\gamma' \backslash \mu'$ | 0    | 1      | 2      | 3     | 4      | 5      | $f_r$ [Hz] |
|---------------------------|------|--------|--------|-------|--------|--------|------------|
| 1                         | 1    | -0,097 | -0,046 | -0,03 | -0,023 | -0,018 | 100        |
| 2                         | 0,5  |        |        |       |        |        |            |
| 10                        |      | -0,8   |        |       |        |        |            |
| 11                        |      | -4     |        |       |        |        | 1100       |
| 12                        |      | 1,3    |        |       |        |        | 1200       |
| 22                        |      |        | -2     |       |        |        | 2200       |
| 23                        |      |        | +2     |       |        |        | 2300       |
| 24                        |      |        | 0,66   |       |        |        |            |
| 25                        | 0,04 | 0,073  | 0,4    | -0,11 | -0,05  | -0,03  |            |

Tabela 23 - Hidrogeneratorul Nr. 2

| $\gamma' \backslash \mu'$ | 0    | 1      | 2      | 3      | $f_r$ [Hz] |
|---------------------------|------|--------|--------|--------|------------|
| 1                         | 1    | -0,164 | -0,075 | -0,049 | 100        |
| 2                         | 0,5  |        |        |        |            |
| 6                         |      | -0,916 |        |        |            |
| 7                         |      | -11    |        |        | 700        |
| 8                         |      | 1,1    |        |        | 800        |
| 13                        |      |        | -0,846 |        |            |
| 14                        |      |        | -5,5   |        | 1400       |
| 15                        |      |        | 1,22   |        | 1500       |
| 20                        |      |        |        | -0,78  |            |
| 21                        |      |        |        | -0,66  | 2100       |
| 22                        |      |        |        | 1,375  | 2200       |
| 25                        | 0,04 | 0,055  | 0,09   | 0,268  |            |

Tabela 24 - Hidrogeneratorul Nr. 3

| $\gamma' \backslash \mu'$ | 0    | 1    | 2        | 3   | $f_r$ [Hz] |
|---------------------------|------|------|----------|-----|------------|
| 1                         | 1    |      |          |     | 100        |
| 2                         | 0,5  |      |          |     |            |
| 7                         |      | -2   |          |     | 700        |
| 8                         |      | +2   |          |     | 800        |
| 14                        |      |      | -1       |     | 1400       |
| 15                        |      |      | $\infty$ |     | 1500       |
| 16                        |      |      | +1       |     | 1600       |
| 22                        |      |      |          | -2  | 2200       |
| 23                        |      |      |          | +2  | 2300       |
| 25                        | 0,04 | 0,05 | 0,1      | 0,4 |            |

Tabela 25 - Hidrogeneratorul Nr. 4

| $\gamma' \backslash \mu'$ | 0    | 1        | 2        | 3   | $f_r$ [Hz] |
|---------------------------|------|----------|----------|-----|------------|
| 1                         | 1    |          |          |     | 100        |
| 8                         |      | -1       |          |     | 800        |
| 9                         |      | $\infty$ |          |     | 900        |
| 10                        |      | +1       |          |     | 1000       |
| 17                        |      |          | -1       |     | 1700       |
| 18                        |      |          | $\infty$ |     | 1800       |
| 19                        |      |          | +1       |     | 1900       |
| 25                        | 0,04 | 0,06     | 0,14     | 0,5 |            |

Tabela 26 - Hidrogeneratorul Nr. 5

| $\gamma' \backslash \mu'$ | 0    | 1     | 2     | 3      | $f_r$ [Hz] |
|---------------------------|------|-------|-------|--------|------------|
| 1                         | 1    |       |       |        | 100        |
| 9                         |      | -2,33 |       |        | 900        |
| 10                        |      | 1,75  |       |        | 1000       |
| 18                        |      |       | -1,16 |        | 1800       |
| 19                        |      |       | 7     |        | 1900       |
| 25                        | 0,04 | 0,064 | 0,162 | -0,304 |            |

Tabela 27 - Hidrogeneratorul Nr. 6

| $\gamma' \backslash \mu'$ | 0 | 1  | 2        | 3 | $f_r$ [Hz] |
|---------------------------|---|----|----------|---|------------|
| 1                         | 1 |    |          |   | 100        |
| 10                        |   | -2 |          |   | 1000       |
| 11                        |   | +2 |          |   | 1100       |
| 20                        |   |    | -1       |   | 2000       |
| 21                        |   |    | $\infty$ |   | 2100       |
| 22                        |   |    | +1       |   | 2200       |

Tabela 28 - Hidrogeneratorul Nr. 7

| $\nu' \backslash \mu'$ | 0 | 1     | 2     | 3    | $f_r$ [Hz] |
|------------------------|---|-------|-------|------|------------|
| 1                      | 1 |       |       |      | 100        |
| 8                      |   | -5,5  |       |      | 800        |
| 9                      |   | +1,22 |       |      | 900        |
| 16                     |   |       | -2,75 |      | 1600       |
| 17                     |   |       | +1,57 |      | 1700       |
| 25                     |   |       |       | +2,2 | 2500       |

Tabela 29 - Hidrogeneratorul Nr. 8

| $\nu' \backslash \mu'$ | 0    | 1     | 2     | 3     | $f_r$ [Hz] |
|------------------------|------|-------|-------|-------|------------|
| 1                      | 1    |       |       |       | 100        |
| 10                     |      | -3,5  |       |       | 1000       |
| 11                     |      | +1,4  |       |       | 1100       |
| 20                     |      |       | -1,75 |       |            |
| 21                     |      |       | +2,33 |       | 2100       |
| 25                     | 0,04 | 0,068 | 0,225 | -0,17 |            |

Tabela 30 - Hidrogeneratorul Nr. 9

| $\nu' \backslash \mu'$ | 0    | 1     | 2     | 3     | $f_r$ [Hz] |
|------------------------|------|-------|-------|-------|------------|
| 1                      | 1    |       |       |       | 100        |
| 7                      |      | -5    |       |       | 700        |
| 8                      |      | +1,25 |       |       | 800        |
| 14                     |      |       | -2,5  |       | 1400       |
| 15                     |      |       | +1,66 |       | 1500       |
| 21                     |      |       |       | -1,66 | 2100       |
| 22                     |      |       |       | +2,5  | 2200       |
| 25                     | 0,04 | 0,056 | 0,094 | 0,294 |            |

Tabela 31 - Hidrogeneratorul Nr. 10

| $\nu' \backslash \mu'$ | 0    | 1     | 2     | 3     | $f_r$ [Hz] |
|------------------------|------|-------|-------|-------|------------|
| 1                      | 1    |       |       |       | 100        |
| 7                      |      | -1,14 |       |       |            |
| 8                      |      | +8    |       |       | 800        |
| 15                     |      |       | -1,33 |       |            |
| 16                     |      |       | +4    |       | 1600       |
| 23                     |      |       |       | -1,6  |            |
| 24                     |      |       |       | +2,66 | 2400       |
| 25                     | 0,04 | 0,058 | 0,108 | 0,727 |            |

Tabela 32 - Hidrogeneratorul Nr. 11

| $\nu' \backslash \mu'$ | 0    | 1     | 2     | 3      | $f_r$ [Hz] |
|------------------------|------|-------|-------|--------|------------|
| 1                      | 1    |       |       |        | 100        |
| 10                     |      | -1,07 |       |        |            |
| 11                     |      | +14   |       |        | 1100       |
| 21                     |      |       | -1,16 |        |            |
| 22                     |      |       | 7     |        | 2200       |
| 25                     | 0,04 | 0,07  | 0,318 | -0,126 |            |

Tabela 33 - Hidrogeneratorul Nr. 12

| $\nu' \backslash \mu'$ | 0    | 1        | 2     | 3     | $f_r$ [Hz] |
|------------------------|------|----------|-------|-------|------------|
| 1                      | 1    |          |       |       | 100        |
| 17                     |      | -1       |       |       | 1700       |
| 18                     |      | $\infty$ |       |       | 1800       |
| 19                     |      | +1       |       |       | 1900       |
| 25                     | 0,04 | 0,14     | -0,09 | -0,03 |            |



Tabela 34 - Hidrogeneratorul Nr.13

| $\gamma' \backslash \mu'$ | 0 | 1        | 2        | 3 | $f_r$ |
|---------------------------|---|----------|----------|---|-------|
| 1                         | 1 |          |          |   | 100   |
| 8                         |   | -1       |          |   | 800   |
| 9                         |   | $\infty$ |          |   | 900   |
| 10                        |   | +1       |          |   | 1000  |
| 17                        |   |          | -1       |   | 1700  |
| 18                        |   |          | $\infty$ |   | 1800  |
| 19                        |   |          | +1       |   | 1900  |

Tabela 35 - Hidrogeneratorul Nr. 14

| $\gamma' \backslash \mu'$ | 0    | 1      | 2        | 3      | $f_r$ [Hz] |
|---------------------------|------|--------|----------|--------|------------|
| 1                         | 1    |        |          |        | 100        |
| 10                        |      | -2     |          |        | 1000       |
| 11                        |      | +2     |          |        | 1100       |
| 20                        |      |        | -1       |        | 2000       |
| 21                        |      |        | $\infty$ |        | 2100       |
| 22                        |      |        | +1       |        | 2200       |
| 25                        | 0,04 | 0,0689 | 0,25     | -0,153 |            |

Tabela 36 - Hidrogeneratorul Nr.15

| $\gamma' \backslash \mu'$ | 0 | 1        | 2        | 3 | $f_r$ [Hz] |
|---------------------------|---|----------|----------|---|------------|
| 1                         | 1 |          |          |   | 100        |
| 8                         |   | -1       |          |   | 800        |
| 9                         |   | $\infty$ |          |   | 900        |
| 10                        |   | +1       |          |   | 1000       |
| 17                        |   |          | -1       |   | 1700       |
| 18                        |   |          | $\infty$ |   | 1800       |
| 19                        |   |          | +1       |   | 1900       |

Tabela 37 - Hidrogeneratorul Nr.16

| $\gamma' \backslash \mu'$ | 0    | 1     | 2     | 3      | $f_r$ [Hz] |
|---------------------------|------|-------|-------|--------|------------|
| 1                         | 1    |       |       |        | 100        |
| 14                        |      | -2,5  |       |        | 1400       |
| 15                        |      | +1,66 |       |        | 1500       |
| 25                        | 0,04 | 0,094 | -0,26 | -0,055 |            |

Tabela 38 - Hidrogeneratorul Nr.17

| $\gamma' \backslash \mu'$ | 0 | 1        | 2        | 3        | 4        | $f_r$ [Hz] |
|---------------------------|---|----------|----------|----------|----------|------------|
| 1                         | 1 |          |          |          |          | 100        |
| 5                         |   | -1       |          |          |          | 500        |
| 6                         |   | $\infty$ |          |          |          | 600        |
| 7                         |   | +1       |          |          |          | 700        |
| 11                        |   |          | -1       |          |          | 1100       |
| 12                        |   |          | $\infty$ |          |          | 1200       |
| 13                        |   |          | +1       |          |          | 1300       |
| 17                        |   |          |          | -1       |          | 1700       |
| 18                        |   |          |          | $\infty$ |          | 1800       |
| 19                        |   |          |          | +1       |          | 1900       |
| 23                        |   |          |          |          | -1       | 2300       |
| 24                        |   |          |          |          | $\infty$ | 2400       |
| 25                        |   |          |          |          | +1       | 2500       |

Tabela 39 - Hidrogeneratorul Nr 18

| $\gamma' \backslash \mu'$ | 0 | 1  | 2  | 3 | $f_r$ [Hz] |
|---------------------------|---|----|----|---|------------|
| 1                         | 1 |    |    |   | 100        |
| 11                        |   | -1 |    |   | 1100       |
| 12                        |   | 0  |    |   |            |
| 13                        |   | +1 |    |   | 1300       |
| 23                        |   |    | -1 |   | 2300       |
| 24                        |   |    | 0  |   |            |
| 25                        |   |    | +1 |   | 2500       |

INSTITUTUL NAȚIONAL  
TEHNOLOGIC  
ROMÂNIA

Tabela 40 - Hidrogeneratorul Nr. 19

| $\nu' \backslash \mu'$ | 0 | 1  | 2  | $f_r$ [Hz] |
|------------------------|---|----|----|------------|
| 1                      | 1 |    |    | 100        |
| 11                     |   | -1 |    | 1100       |
| 12                     |   | 0  |    |            |
| 13                     |   | +1 |    | 1300       |
| 23                     |   |    | -1 | 2300       |
| 24                     |   |    | 0  |            |
| 25                     |   |    | +1 | 2500       |

Tabela 41 - Hidrogeneratorul Nr. 20

| $\nu' \backslash \mu'$ | 0    | 1     | 2    | $f_r$ [Hz] |
|------------------------|------|-------|------|------------|
| 1                      | 1    |       |      | 100        |
| 13                     |      | -2    |      | 1300       |
| 14                     |      | +2    |      | 1400       |
| 25                     | 0,04 | 0,087 | -0,5 |            |

Tabela 42 - Hidrogeneratorul Nr. 21

| $\nu' \backslash \mu'$ | 0 | 1    | 2 | $f_r$ [Hz] |
|------------------------|---|------|---|------------|
| 1                      | 1 |      |   | 100        |
| 14                     |   | -4   |   | 1400       |
| 15                     |   | 1,33 |   | 1500       |
|                        |   |      |   |            |

Tabela 43 - Hidrogeneratorul Nr. 22

| $\nu' \backslash \mu'$ | 0 | 1    | 2    | 3     | $f_r$ [Hz] |
|------------------------|---|------|------|-------|------------|
| 1                      | 1 |      |      |       | 100        |
| 7                      |   | -5   |      |       | 700        |
| 8                      |   | 1,25 |      |       | 800        |
| 14                     |   |      | -2,5 |       | 1400       |
| 15                     |   |      | 1,66 |       | 1500       |
| 21                     |   |      |      | -1,67 | 2100       |
| 22                     |   |      |      | 2,5   | 2200       |

Tabela 44 - Hidrogeneratorul Nr. 23

| $\nu' \backslash \mu'$ | 0   | 1     | 2     | 3     | $f_r$ [Hz] |
|------------------------|-----|-------|-------|-------|------------|
| 1                      | 0,5 |       |       |       | 100        |
| 7                      |     | -1,14 |       |       |            |
| 8                      |     | 8     |       |       | 800        |
| 9                      |     | 0,88  |       |       |            |
| 15                     |     |       | -1,33 |       |            |
| 16                     |     |       | 4     |       | 1600       |
| 17                     |     |       | 0,8   |       |            |
| 23                     |     |       |       | -1,6  |            |
| 24                     |     |       |       | 2,67  | 2400       |
| 25                     |     |       |       | 0,727 |            |

Tabela 45 - Hidrogeneratorul Nr. 24

| $\nu' \backslash \mu'$ | 0 | 1     | 2     | 3 | $f_r$ [Hz] |
|------------------------|---|-------|-------|---|------------|
| 1                      | 1 |       |       |   | 100        |
| 9                      |   | -2,67 |       |   | 900        |
| 10                     |   | 1,6   |       |   | 1000       |
| 11                     |   | 0,6   |       |   |            |
| 18                     |   |       | -1,33 |   |            |
| 19                     |   |       | 4     |   | 1900       |
| 20                     |   |       | 0,8   |   |            |

Tabela 46 - Tabloul frecvențelor undelor de forțe magnetice radiale, pentru cazul pasului polar cel mai lung adică,  $\gamma'2p = \mu'N_1 = 0$

| Z<br>curent<br>inductiv | $\mu' = 1$ |            | $\mu' = 2$ |            | $\mu' = 3$ |            | $\mu' = 4$ |            | $\mu' = 5$ |            | $\mu' = 6$ |            |
|-------------------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
|                         | $\gamma'$  | $f_r$ [Hz] | $\gamma'$  | $f_r$ [Hz] | $\gamma'$  | $f_r$ [Hz] | $\gamma'$  | $f_r$ [Hz] | $\gamma'$  | $f_r$ [Hz] | $\gamma'$  | $f_r$ [Hz] |
| 1.                      | 11,25      | 1125       | 22,5       | 2250       | 33,75      | 3375       | 45         | 4500       | 56,25      | 5625       | 67,5       | 6750       |
| 2.                      | 7,09       | 709        | 14,18      | 1418       | 21,27      | 2127       | 28,36      | 2836       | 35,45      | 3545       | 42,54      | 4254       |
| 3.                      | 7,5        | 750        | 15         | 1500       | 22,5       | 2250       | 30         | 3000       | 37,5       | 3750       | 45         | 4500       |
| 4.                      | 9          | 900        | 18         | 1800       | 27         | 2700       | 36         | 3600       | 45         | 4500       | 54         | 5400       |
| 5.                      | 9,43       | 943        | 18,85      | 1885       | 28,28      | 2828       | 37,7       | 3770       | 47,13      | 4713       | 56,55      |            |
| 6.                      | 10,5       | 1050       | 21         | 2100       | 31,5       | 3150       | 42         | 4200       | 52,5       | 5250       | 63         | 6300       |
| 7.                      | 8,18       | 818        | 16,36      | 1636       | 24,54      | 2454       | 32,72      | 3272       | 40,90      | 4090       | 49,08      | 4908       |
| 8.                      | 10,28      | 1028       | 20,57      | 2057       | 30,85      | 3085       | 41,14      | 4114       | 51,42      | 5142       | 61,70      | 6170       |
| 9.                      | 7,2        | 720        | 14,4       | 1440       | 21,6       | 2160       | 28,8       | 2880       | 36         | 3600       | 43,2       | 4320       |
| 10.                     | 7,87       | 787        | 15,75      | 1575       | 23,62      | 2362       | 31,5       | 3150       | 39,35      | 3935       | 47,22      | 4722       |
| 11.                     | 10,93      | 1093       | 21,85      | 2185       | 32,78      | 3278       | 43,7       | 4370       | 54,63      | 5463       | 65,56      | 6556       |
| 12.                     | 18         | 1800       | 36         | 3600       | 54         | 5400       | 72         | 7200       | 90         | 9000       | 108        | 10800      |
| 13.                     | 9          | 900        | 18         | 1800       | 27         | 2700       | 36         | 3600       | 45         | 4500       | 54         | 5400       |
| 14.                     | 10,5       | 1050       | 21         | 2100       | 31,5       | 3150       | 42         | 4200       | 52,5       | 5250       | 63         | 6300       |

|     |       |      |       |      |       |      |      |      |       |      |       |      |
|-----|-------|------|-------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|------|
| 15. | 5,43  | 543  | 10,85 | 1085 | 16,28 | 1628 | 21,7 | 2170 | 27,13 | 2713 | 32,56 | 3256 |
| 16. | 14,4  | 1440 | 28,8  | 2880 | 43,2  | 4320 | 57,6 | 5760 | 72    | 7200 | 86,4  | 8640 |
| 17. | 6     | 600  | 12    | 1200 | 18    | 1800 | 24   | 2400 | 30    | 3000 | 36    | 3600 |
| 18. | 12    | 1200 | 24    | 2400 | 36    | 3600 | 48   | 4800 | 60    | 6000 | 72    | 7200 |
| 19. | 12    | 1200 | 24    | 2400 | 36    | 3600 | 48   | 4800 | 60    | 6000 | 72    | 7200 |
| 20. | 13,5  | 1350 | 27    | 2700 | 40,5  | 4050 | 54   | 5400 | 67,5  | 6750 | 81    | 8100 |
| 21. | 14,25 | 1425 | 28,5  | 2850 | 42,75 | 4275 | 57   | 5700 | 71,25 | 7125 | 85,5  | 8550 |
| 22. | 7,2   | 720  | 14,4  | 1440 | 21,6  | 2160 | 28,8 | 2880 | 36    | 3600 | 43,2  |      |
| 23. | 7,87  | 787  | 15,75 | 1575 | 23,62 | 2362 | 31,5 | 3150 | 39,37 | 3937 | 47,24 | 4724 |
| 24. | 9,30  | 930  | 18,75 | 1875 | 28,13 | 2813 | 37,5 | 3750 | 46,88 | 4688 | 56,26 | 5626 |

Tabela 47 - Frecvențele undelor de forțe magnetice  $f_r$  [Hz].

| Nr. curent | r=0  | r=1  | r=2  | r=3  | r=4  | r=5  | r=2p | $r=\frac{2p}{d}$ | r=2p-N <sub>1</sub> |
|------------|------|------|------|------|------|------|------|------------------|---------------------|
| 1.         | 1125 | 1129 | 1133 | 1137 | 1141 | 1146 | 1225 | 1150             | 100                 |
| 2.         | 709  | 711  | 713  | 716  | 718  | 720  | 809  | 718              | "                   |
| 3.         | 750  | 753  | 757  | 760  | 764  | 768  | 850  | 800              | "                   |
| 4.         | 900  | 903  | 906  | 909  | 911  | 914  | 1000 | -                | "                   |
| 5.         | 943  | 950  | 957  | 964  | 971  | 978  | 1043 | 957              | "                   |
| 6.         | 1050 | 1055 | 1060 | 1065 | 1070 | 1075 | 1150 | 1100             | "                   |
| 7.         | 818  | 820  | 822  | 825  | 827  | 830  | 918  | 827              | "                   |
| 8.         | 1028 | 1032 | 1036 | 1040 | 1044 | 1048 | 1128 | 1043             | "                   |
| 9.         | 720  | 722  | 723  | 725  | 727  | 729  | 820  | 733              | "                   |
| 10.        | 787  | 789  | 791  | 792  | 794  | 795  | 887  | 800              | "                   |
| 11.        | 1093 | 1095 | 1096 | 1098 | 1100 | 1102 | 1192 | 1100             | "                   |
| 12.        | 1800 | 1810 | 1820 | 1830 | 1840 | 1850 | 1900 | -                | "                   |
| 13.        | 900  | 907  | 914  | 921  | 928  | 935  | 1000 | -                | "                   |
| 14.        | 1050 | 1056 | 1063 | 1069 | 1075 | 1081 | 1150 | 1100             | "                   |
| 15.        | 900  | 901  | 902  | 903  | 905  | 907  | 1000 | -                | "                   |
| 16.        | 1440 | 1450 | 1460 | 1470 | 1480 | 1490 | 1540 | 1460             | "                   |
| 17.        | 600  | 603  | 606  | 608  | 611  | 614  | 700  | -                | "                   |
| 18.        | 1200 | 1210 | 1220 | 1230 | 1240 | 1250 | 1300 | -                | "                   |
| 19.        | 1200 | 1208 | 1217 | 1225 | 1234 | 1242 | 1300 | -                | "                   |
| 20.        | 1350 | 1363 | 1375 | 1388 | 1400 | 1413 | 1450 | 1400             | "                   |
| 21.        | 1425 | 1431 | 1437 | 1450 | 1456 | 1456 | 1525 | 1450             | "                   |
| 22.        | 720  | 722  | 723  | 725  | 727  | 728  | 820  | 740              | "                   |
| 23.        | 787  | 789  | 791  | 792  | 794  | 795  | 887  | 800              | "                   |
| 24.        | 937  | 941  | 944  | 947  | 950  | 953  | 1037 | 950              | "                   |

Tabela 48. Numărul de ordine al armonicelor de câmp pentru cazul  $r=0$ , amplitudinea forței magnetice radiale specifice care solicită statorul și polul, coeficientul de acoperire polară optim și viteza periferică a undelor de forțe pe diametrul exterior al fierului activ statoric

| Nr. curent<br>hidrogenerator | k     | $f_r$<br>[Hz] | $k'$  | $k''$ | $\gamma'$ | $\gamma''$ | $R_0, sp$        |                   |                  | $\alpha_i = 0,75$ |
|------------------------------|-------|---------------|-------|-------|-----------|------------|------------------|-------------------|------------------|-------------------|
|                              |       |               |       |       |           |            | $\alpha_i = 0,6$ | $\alpha_i = 0,65$ | $\alpha_i = 0,7$ |                   |
| 1.                           | 11,25 | 1125          | 10,75 | 22    | 20,5      | 87         | 5,6              | 9,75              | 11,6             | - 14,45           |
| 2.                           | 7,09  | 709           | 6,59  | 13,68 | 12,18     | 53,73      | - 23,7           | 7,8               | 15,8             | 39,9              |
| 3.                           | 7,5   | 750           | 7     | 14,5  | 13        | 57         | 3,39             | 22,5              | - 6,33           | - 12,5            |
| 4.                           | 9     | 900           | 8,5   | 17,5  | 16        | 69         | 15,3             | - 18,35           | - 13,8           | 0                 |
| 5.                           | 9,423 | 943           | 8,93  | 18,36 | 16,86     | 72,43      | - 1,8            | 7,73              | 6,29             | - 9,35            |
| 6.                           | 10,5  | 1050          | 10    | 20,5  | 19        | 81         | - 16,4           | 11,1              | 19,8             | - 9               |
| 7.                           | 8,18  | 818           | 7,68  | 15,86 | 14,36     | 62,45      | 24,4             | 27,6              | 1,23             | - 36              |
| 8.                           | 10,28 | 1028          | 9,73  | 20,07 | 18,57     | 79,29      | 20,7             | - 19,6            | - 23,6           | - 2,68            |
| 9.                           | 7,2   | 720           | 6,7   | 13,9  | 12,4      | 54,6       | - 39             | - 32,1            | - 1,66           | 49                |
| 10.                          | 7,875 | 787           | 7,38  | 15,25 | 13,75     | 60         | 0                | - 41              | 0                | - 14,7            |
| 11.                          | 10,93 | 1093          | 10,43 | 21,36 | 19,85     | 84,43      | 3,15             | - 25,3            | - 4,34           | 22,6              |
| 12.                          | 18    | 1800          | 17,5  | 35,5  | 34        | 141        | 4,38             | 0                 | 2,94             | 0                 |
| 13.                          | 9     | 900           | 8,5   | 17,5  | 16        | 69         | 31               | - 37,4            | 28,3             | 0                 |
| 14.                          | 10,5  | 1050          | 10    | 20,5  | 19        | 81         | - 4,36           | 3                 | 5,33             | - 3,47            |

|     |       |      |       |       |       |       |        |        |         |        |
|-----|-------|------|-------|-------|-------|-------|--------|--------|---------|--------|
| 15. | 9     | 900  | 8,5   | 17,5  | 16    | 69    | 12,7   | - 15,1 | - 11,45 | 0      |
| 16. | 14,4  | 1440 | 13,9  | 28,3  | 26,8  | 112,2 | - 9,95 | 9,47   | 8,32    | 0,44   |
| 17. | 6     | 600  | 5,5   | 11,5  | 10    | 45    | 0      | - 84,6 | - 94    | - 36,6 |
| 18. | 12    | 1200 | 11,5  | 23    | 22    | 93    | - 3,76 | - 3,63 | - 10    | 5,1    |
| 19. | 12    | 1200 | 11,5  | 23,5  | 22    | 93    | - 4,01 | - 3,88 | - 10,7  | 5,45   |
| 20. | 13,5  | 1350 | 13    | 26,5  | 25    | 105   | 7,58   | 1,635  | 3,04    | 7,5    |
| 21. | 14,25 | 1425 | 13,75 | 28    | 26,5  | 111   | 1,15   | 1,74   | - 2,76  | 1,51   |
| 22. | 7,2   | 720  | 6,7   | 13,9  | 12,4  | 54,6  | - 37,3 | - 3,62 | - 15,8  | 1      |
| 23. | 7,875 | 787  | 7,375 | 15,25 | 13,75 | 60    | 0      | - 40   | 0       | - 19   |
| 24. | 9,375 | 937  | 8,87  | 18,25 | 16,75 | 72    | 2,62   | 36,7   | 10,2    | 0      |

Continuare la tabelă - 48

| $R_p, sp$      |                 | $[N/m^2]$      |                 | $\alpha_i$   |                    | $\frac{b_i}{t_1}$ | $v_{st}$ |
|----------------|-----------------|----------------|-----------------|--------------|--------------------|-------------------|----------|
| $\alpha_i=0,6$ | $\alpha_i=0,65$ | $\alpha_i=0,7$ | $\alpha_i=0,75$ | optim. calc. | adoptat în proiect | (ur)              | (m/s)    |
| 13,43          | -14,48          | - 0,62         | 14,85           | 0,745        | 0,71               | 8                 | 178      |
| 12,6           | 15,9            | 1,718          | -11,9           | 0,62         | 0,715              | 5,07              | 273      |
| 19,6           | 6,86            | -11,9          | -14,5           | 0,68         | 0,725              | 5,37              | 61       |
| -13,6          | - 5,95          | 9,63           | 8,13            | 0,718        | 0,714              | 6,4               | 46       |
| -24            | 9,79            | 22,1           | - 4,9           | 0,6925       | 0,72               | 6,8               | 107      |
| 17,4           | 10,3            | - 16,45        | - 6,55          | 0,73         | 0,69               | 7,28              | 120      |
| - 6,43         | -17,85          | - 15           | 7,7             | 0,67         | 0,7                | 5,75              | 110      |
| 14,1           | 21              | - 13,85        | -17,2           | 0,65         | 0,721              | 7,4               | 124      |
| 12,2           | 11,15           | - 1,55         | -11             | 0,7025       | 0,705              | 5,1               | 121      |
| 9,16           | - 4             | -10,22         | - 2,8           | 0,6075       | 0,7                | 5,5               | 206      |
| 10,45          | - 3,1           | - 8,1          | 4,9             | 0,72         | 0,745              | 8,15              | 598      |
| 8              | 10,6            | 11,7           | -11,475         | 0,73         | 0,73               | 13,15             | 195      |
| -43            | -18,8           | 31,2           | 25,6            | 0,675        | 0,73               | 6,55              | 86       |
| 3,6            | 3,19            | - 3,4          | - 1,35          | 0,72         | 0,72               | 7,55              | 200      |
| - 4,58         | - 2             | 3,32           | 2,72            | 0,75         | 0,716              | 6,45              | 46       |
| 22,8           | -20,9           | 5,38           | 11,9            | 0,6675       | 0,67               | 7,95              | 236      |
| -51,5          | -15,35          | 32,9           | 43,42           | 0,7475       | 0,66               | 3,96              | 22       |
| -10,8          | - 9,9           | 12,45          | 0               | 0,6975       | 0,67               | 8,04              | 131      |
| - 9,02         | - 8,25          | 9,75           | 0               | 0,715        | 0,724              | 8,7               | 138      |
| 6,75           | 13              | -18,5          | 6,7             | 0,675        | 0,67               | 6,4               | 261      |
| 9,68           | -6,55           | - 0,635        | 0,5             | 0,7175       | 0,76               | 10,8              | 384      |
| 11,56          | 10,6            | - 1,46         | - 9,3           | 0,725        | 0,705              | 5,09              | 120      |
| 8,85           | - 3,95          | - 9,95         | - 2,7           | 0,605        | 0,7                | 5,51              | 204      |
| -22,8          | 6,56            | 20,7           | - 1,915         | 0,75         | 0,75               | 7,02              | 93       |



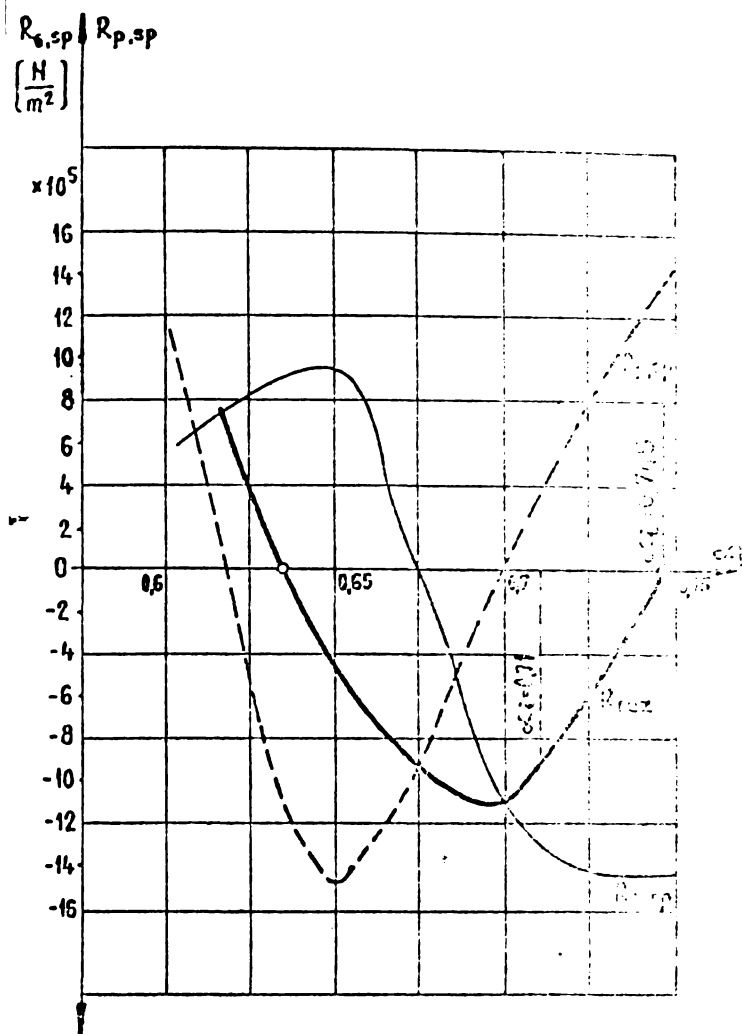


Fig. 73 - Hidrogeneratorul Nr. 1

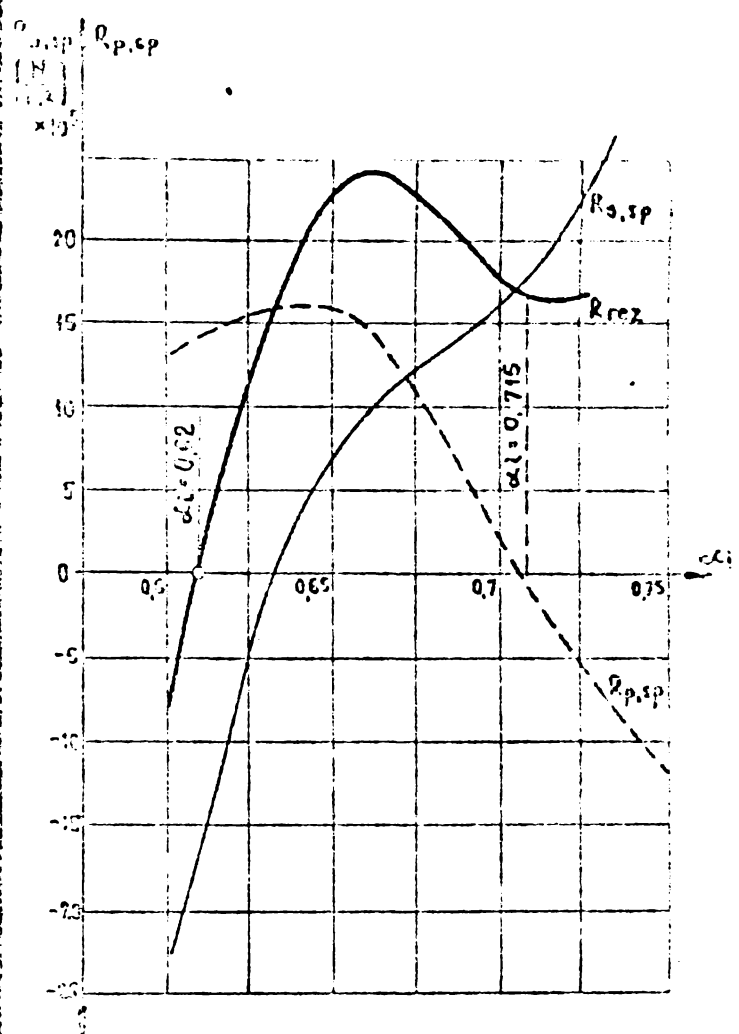


Fig. 74 - Hidrogeneratorul Nr. 2

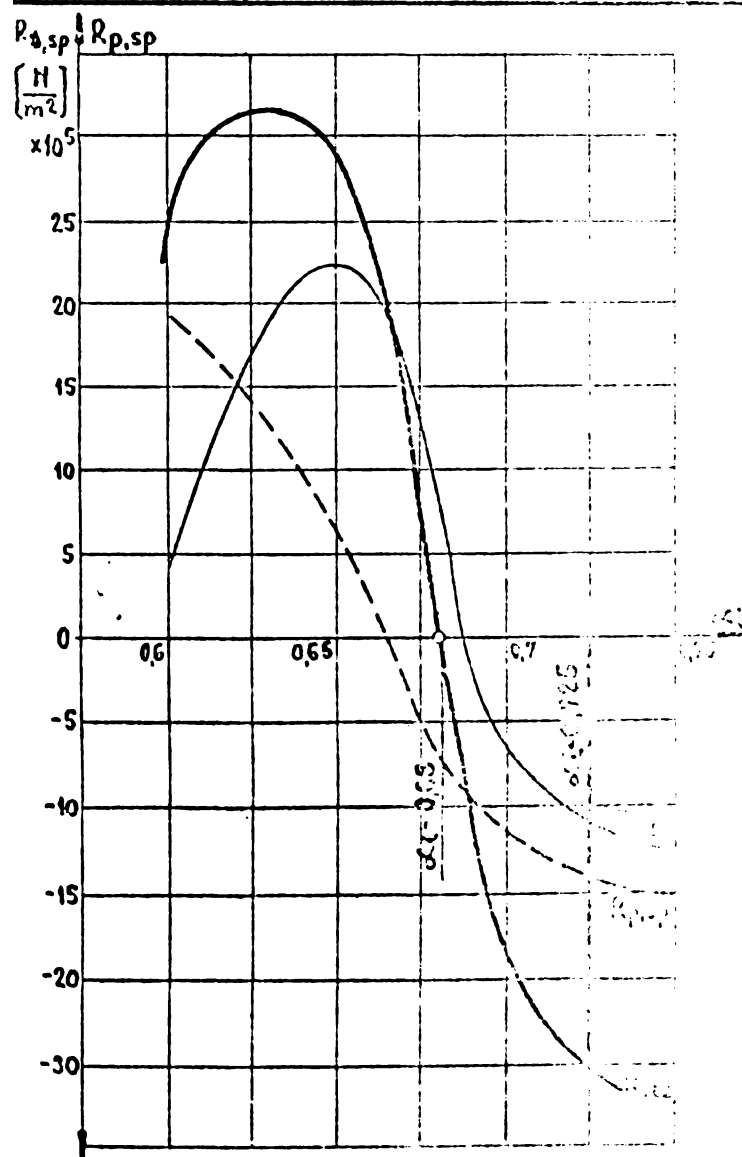


Fig. 75 - Hidrogeneratorul Nr. 3

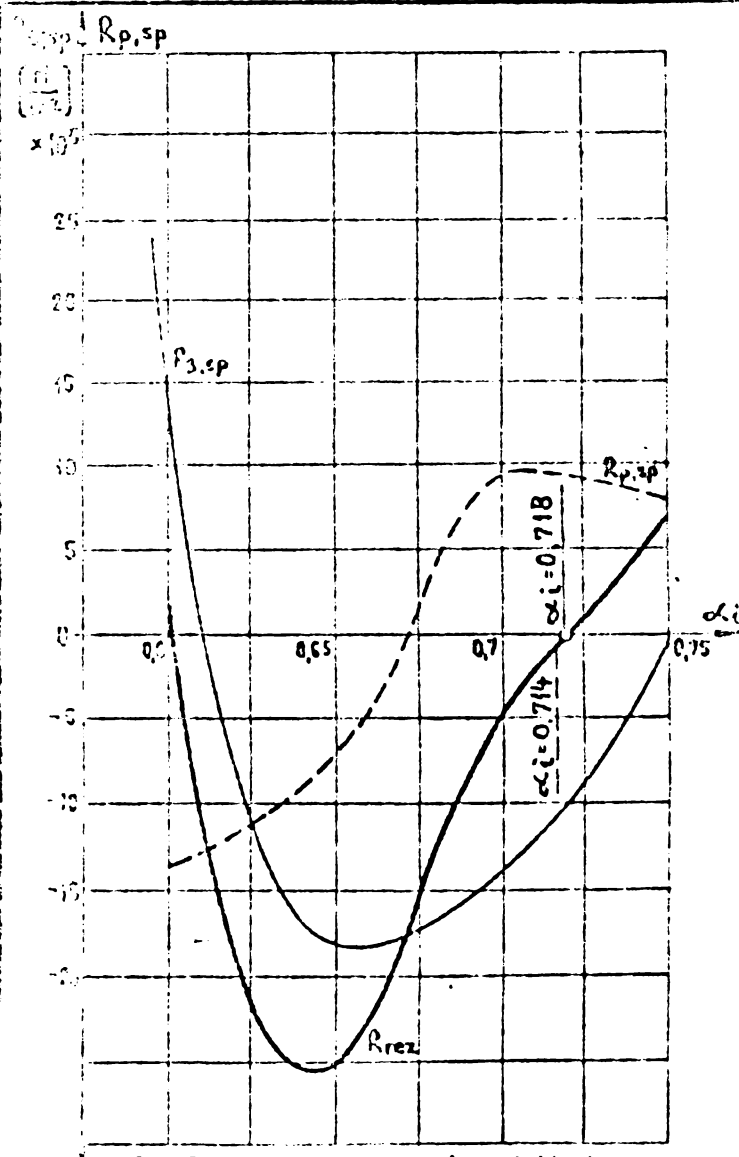


Fig. 76 - Hidrogeneratorul Nr. 4

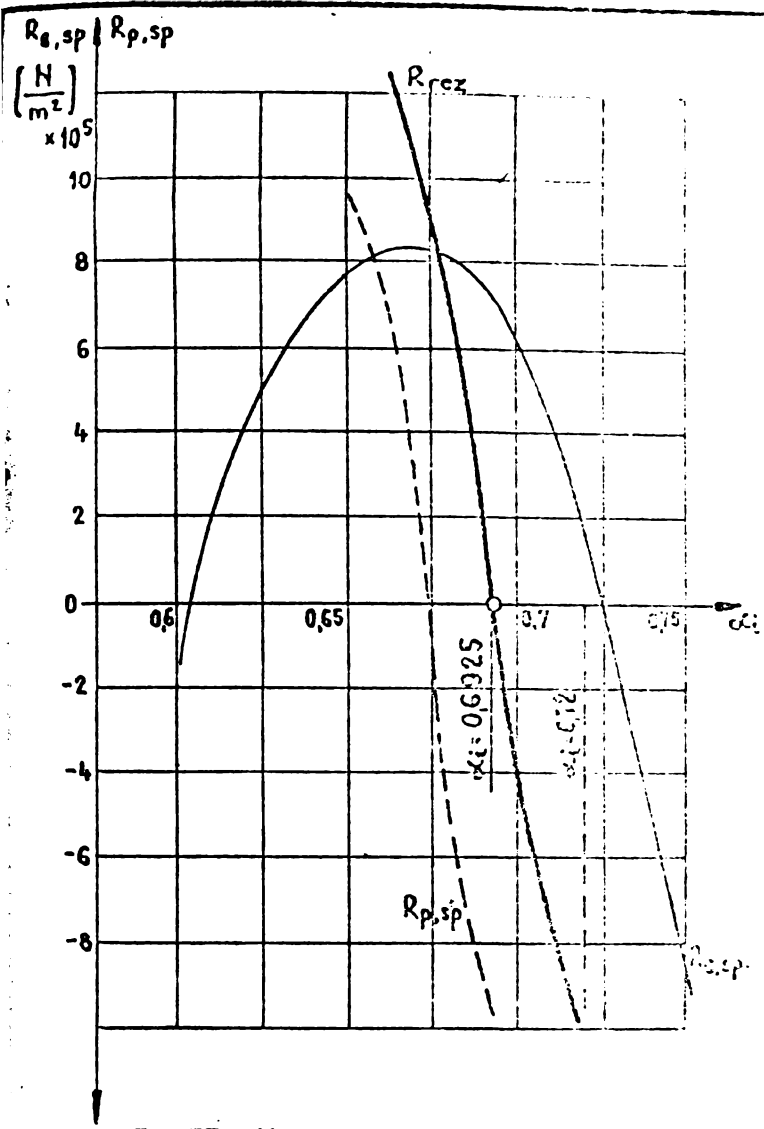


Fig. 77 - Hidrogeneratorul Nr. 5

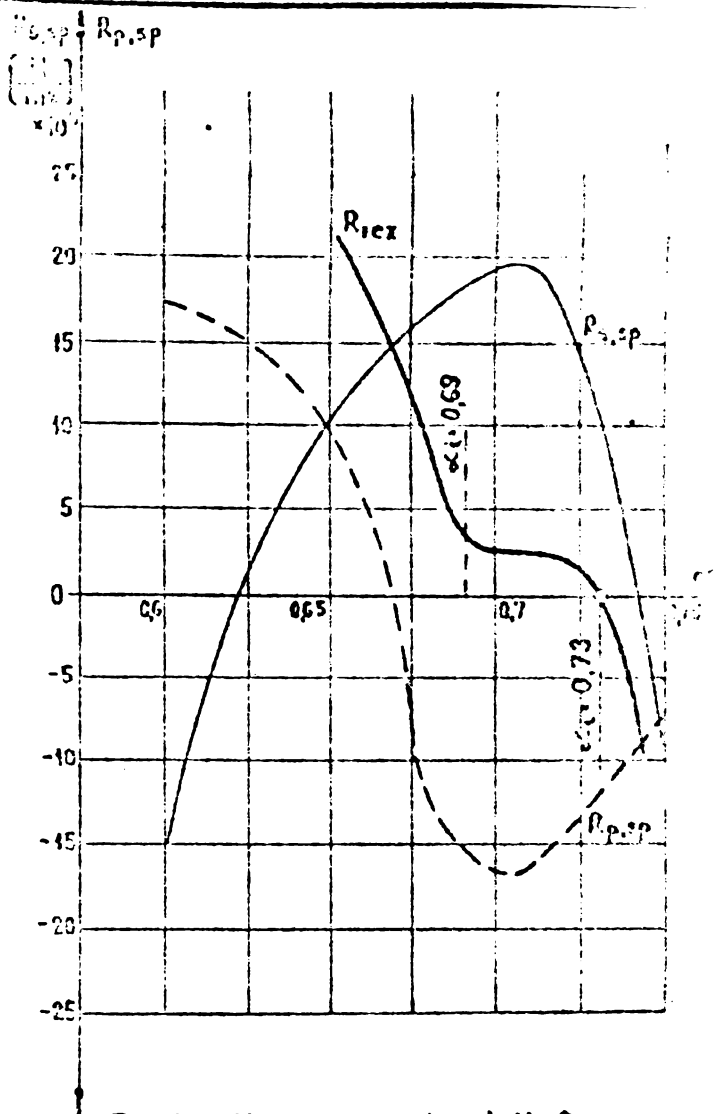


Fig. 78 - Hidrogeneratorul Nr. 6

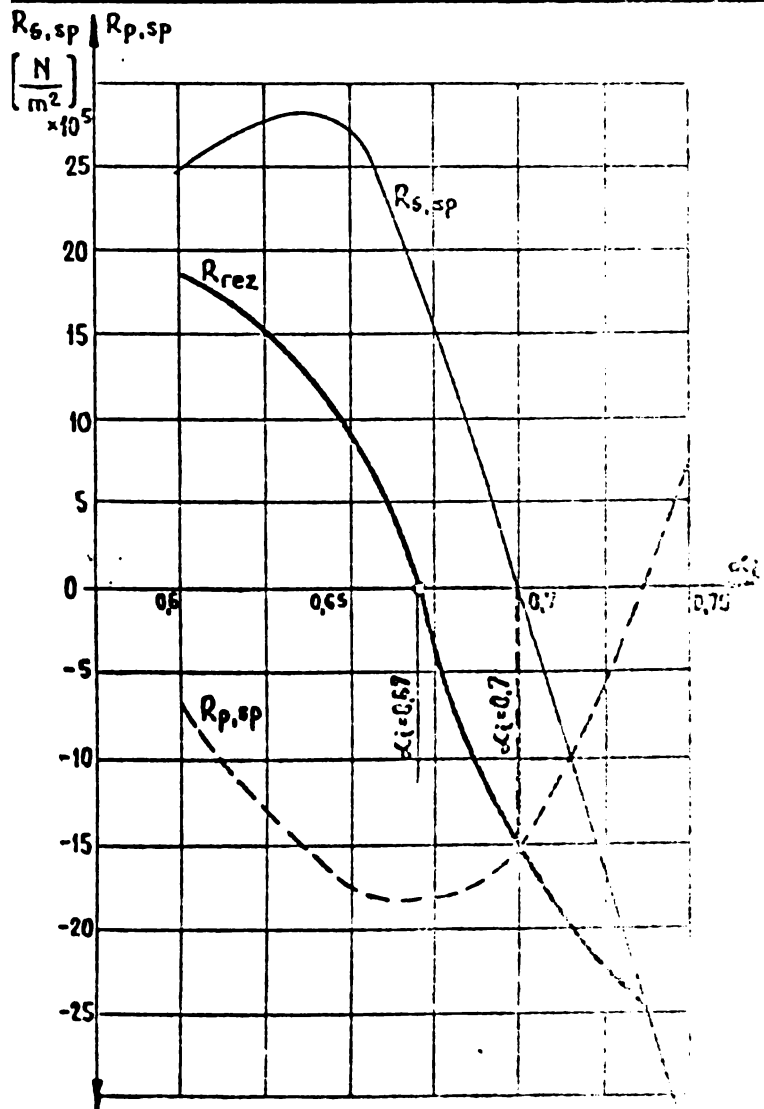


Fig. 79 - Hidrogeneratorul Nr. 7

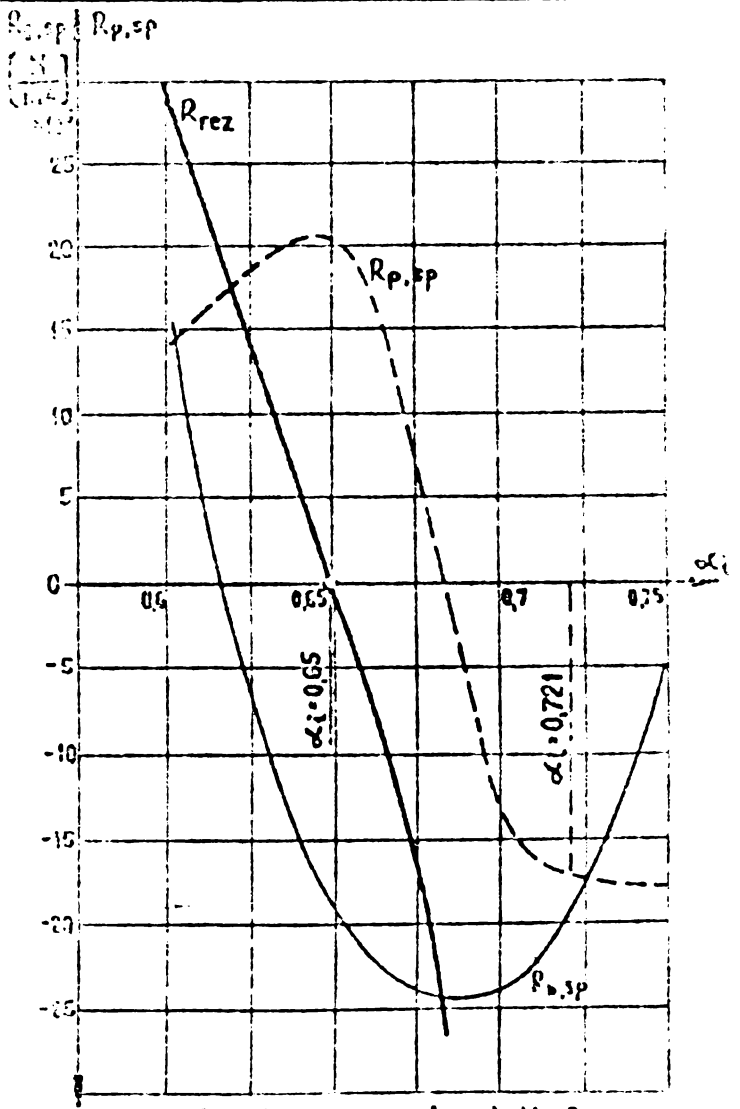


Fig. 80 - Hidrogeneratorul Nr. 8

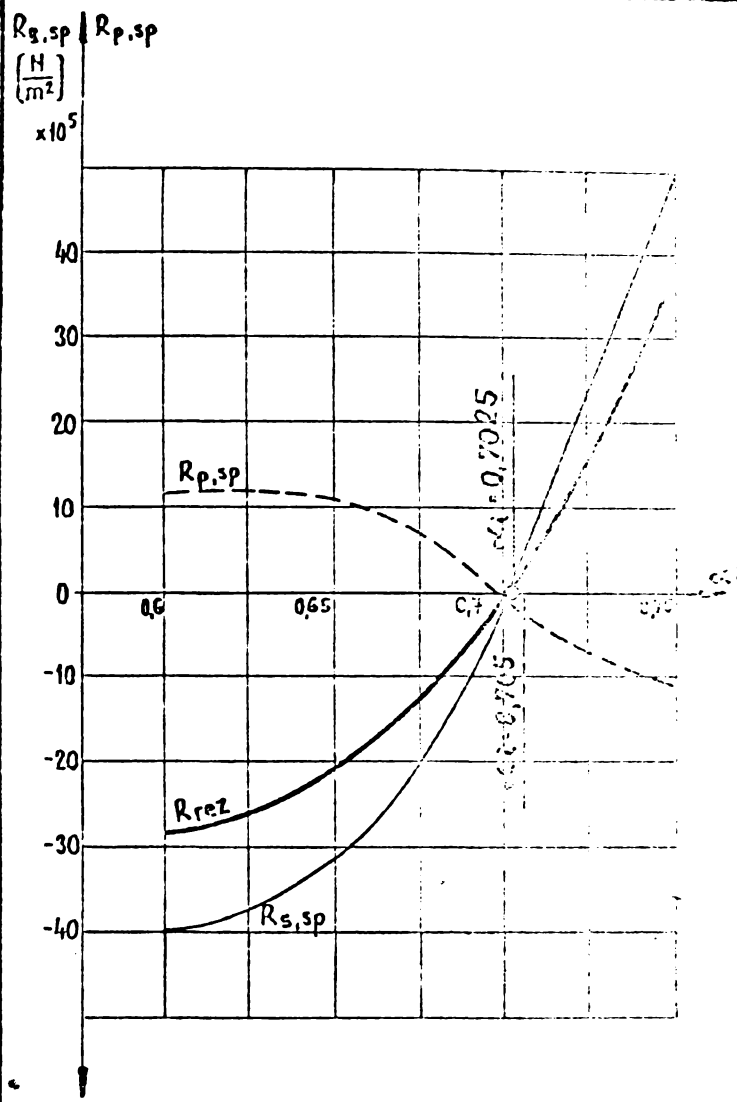


Fig. 81 - Hidrogeneratorul Nr. 8

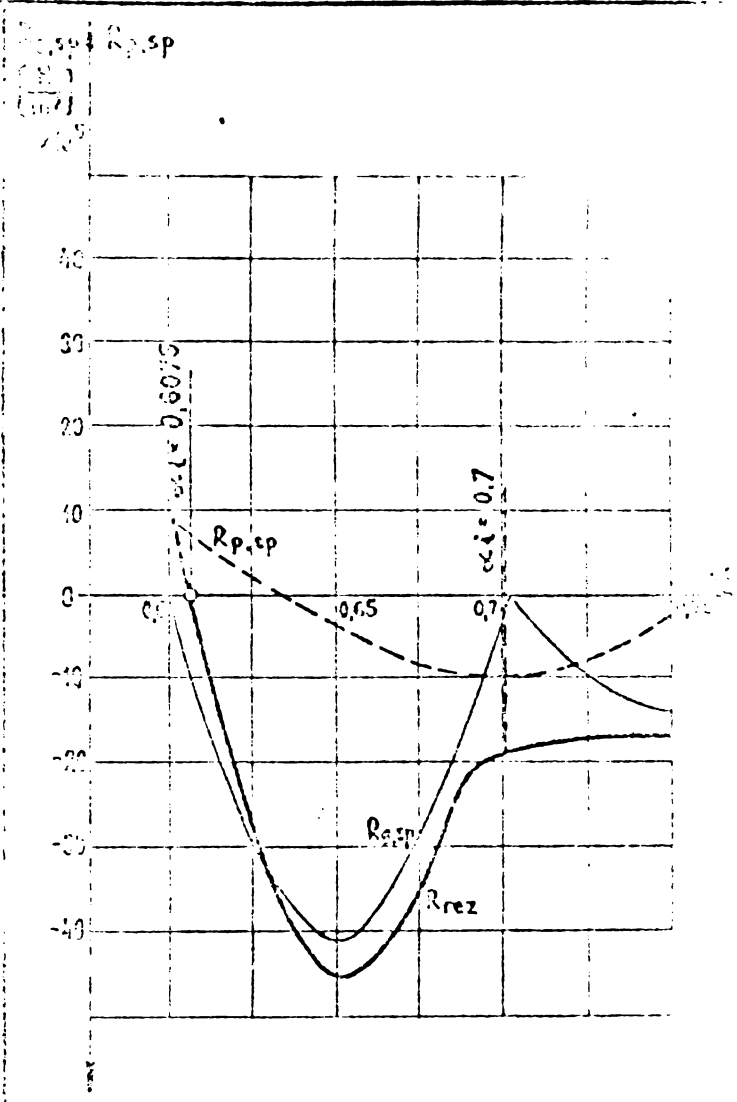


Fig. 82 - Hidrogeneratorul Nr. 10

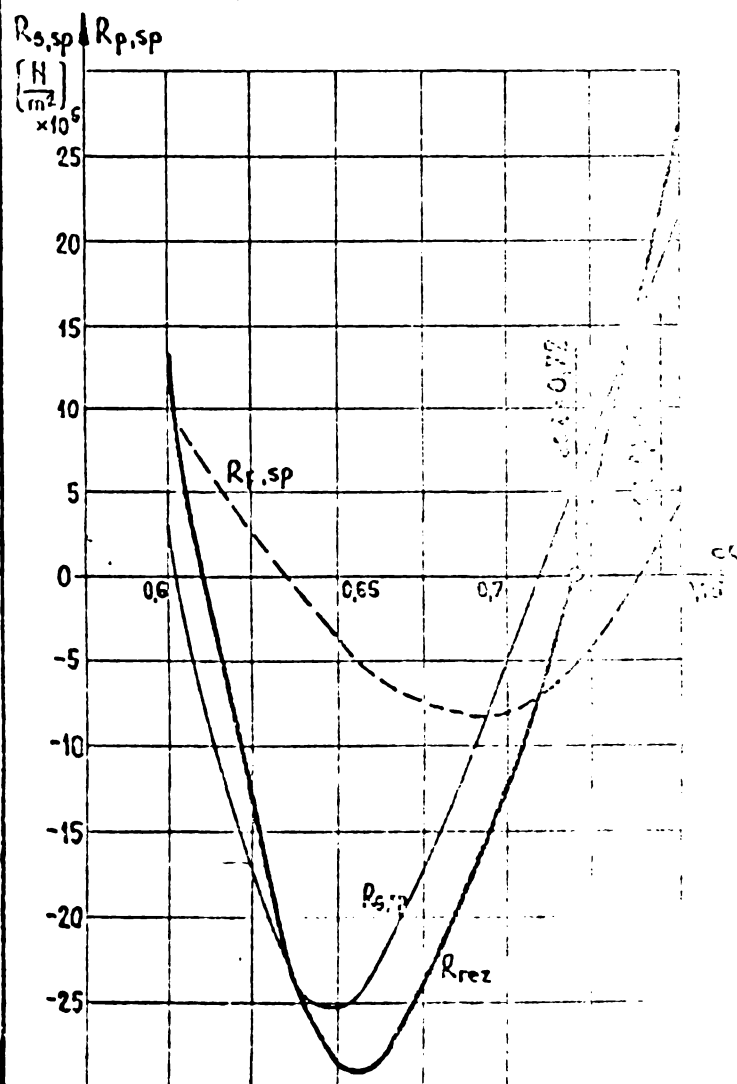


Fig. 83 - Hidrogeneratorul Nr. 11

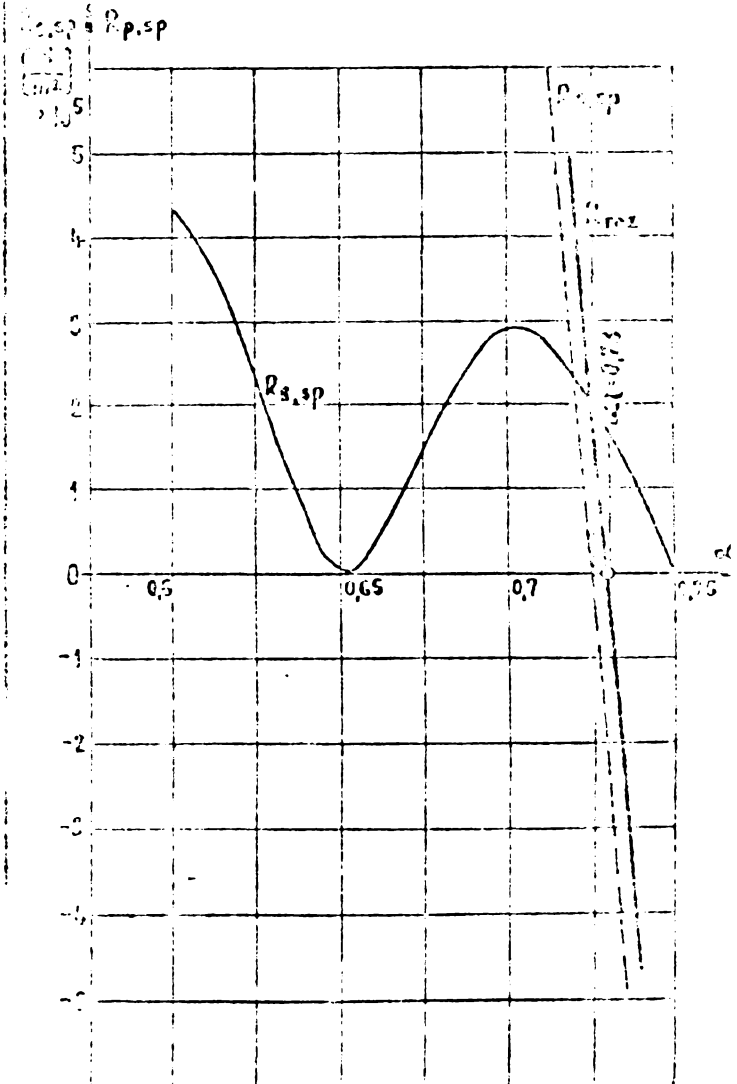


Fig. 84 - Hidrogeneratorul Nr. 12

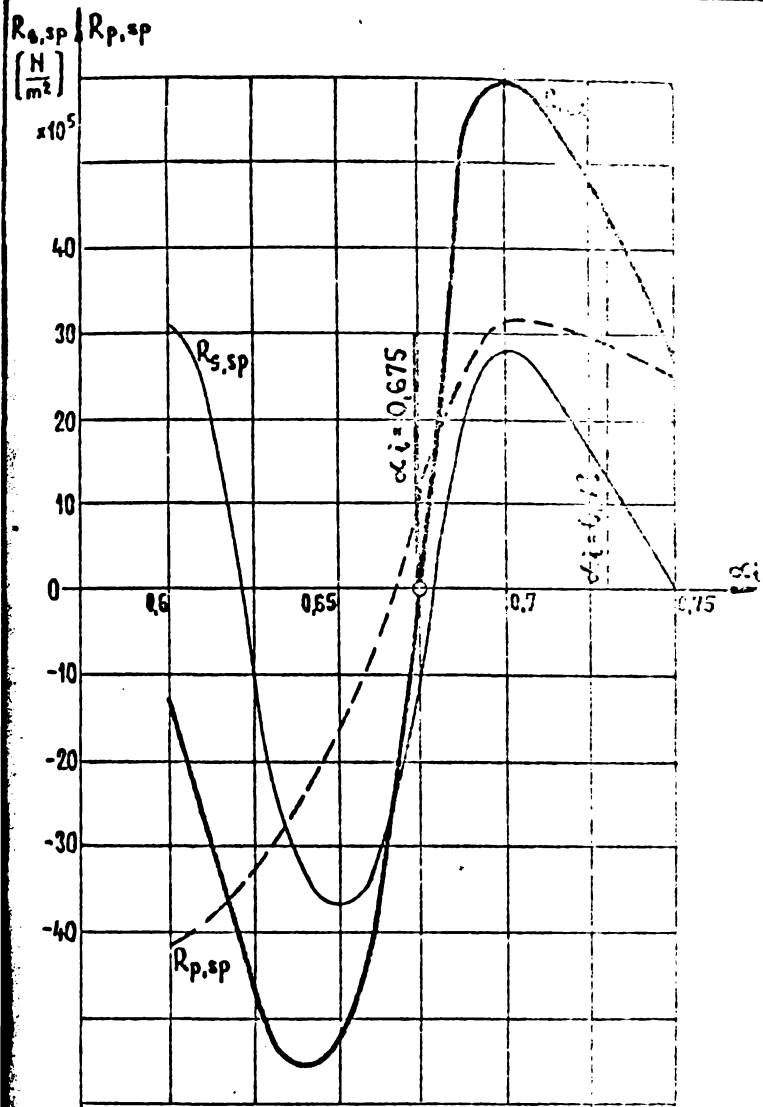


Fig. 85 - Hidrogeneratorul Nr. 13

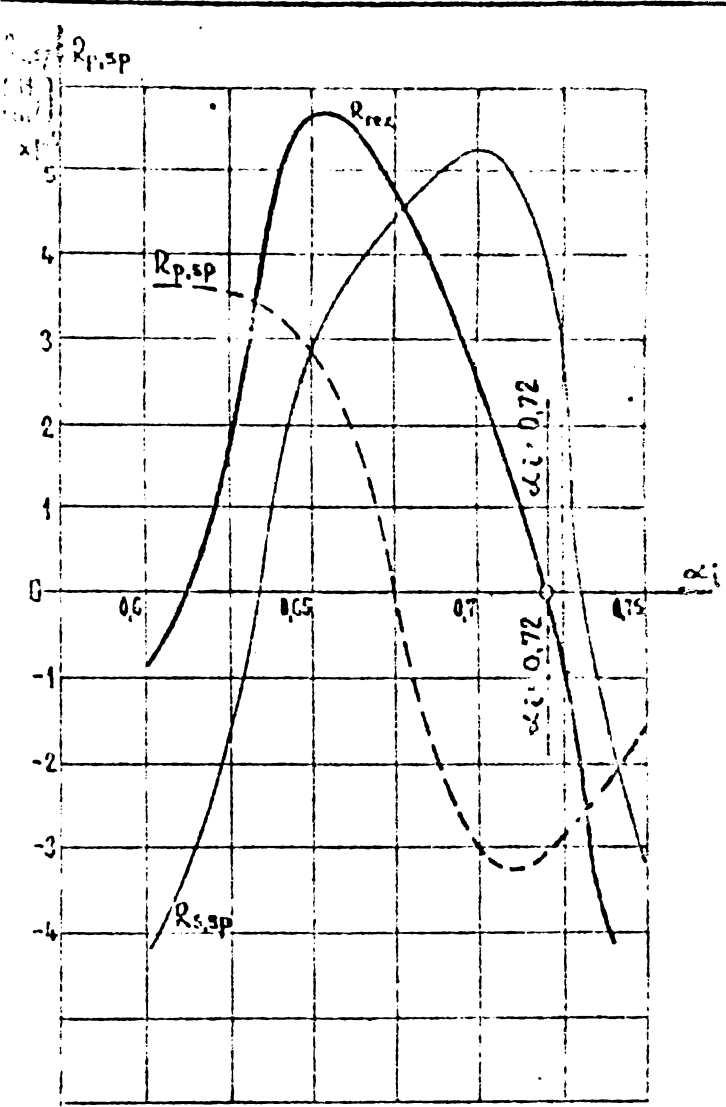


Fig. 86 - Hidrogeneratorul Nr. 14

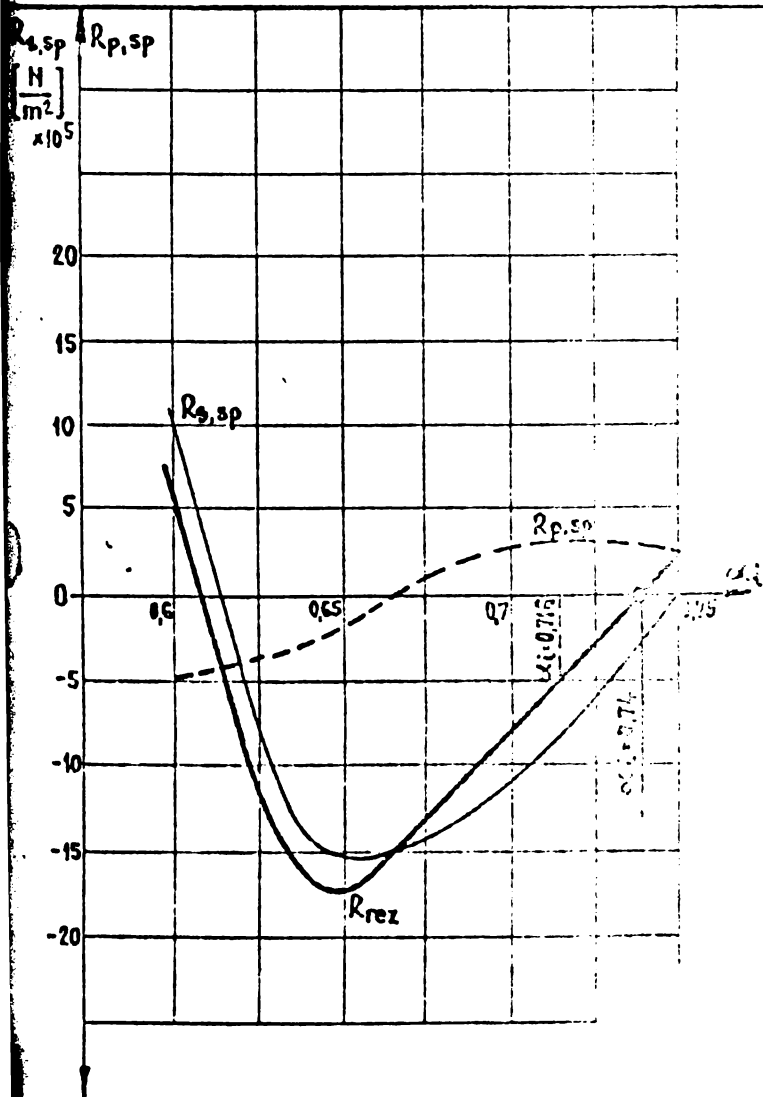


Fig. 87 - Hidrogeneratorul Nr. 15

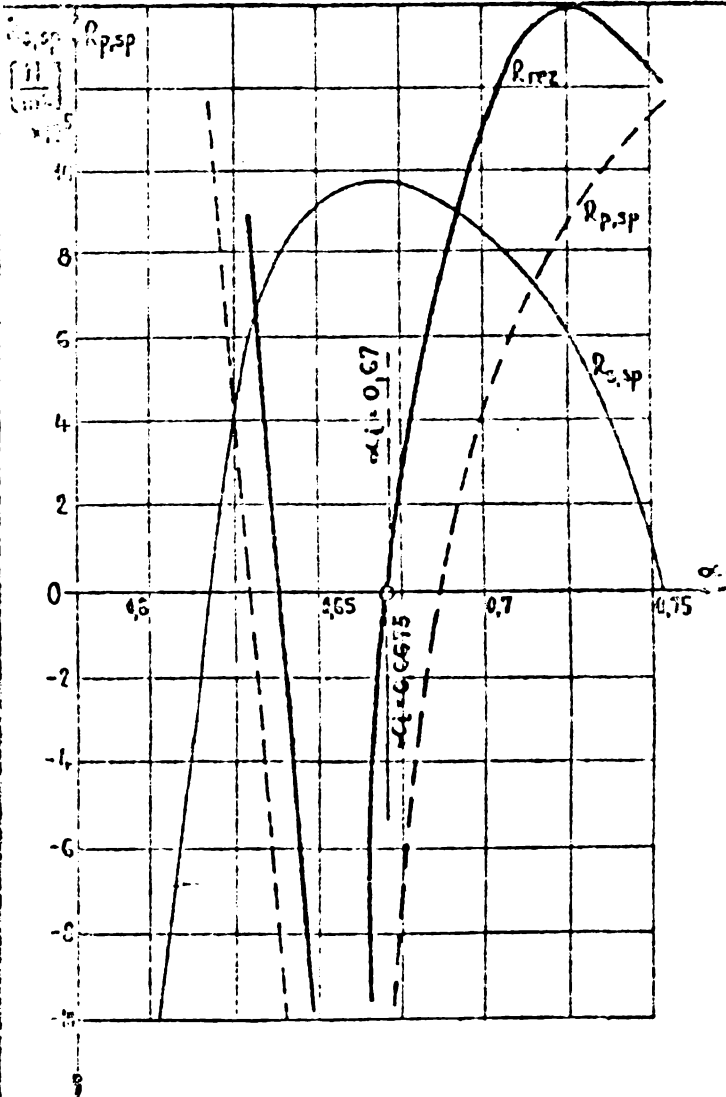


Fig. 88 - Hidrogeneratorul Nr. 16

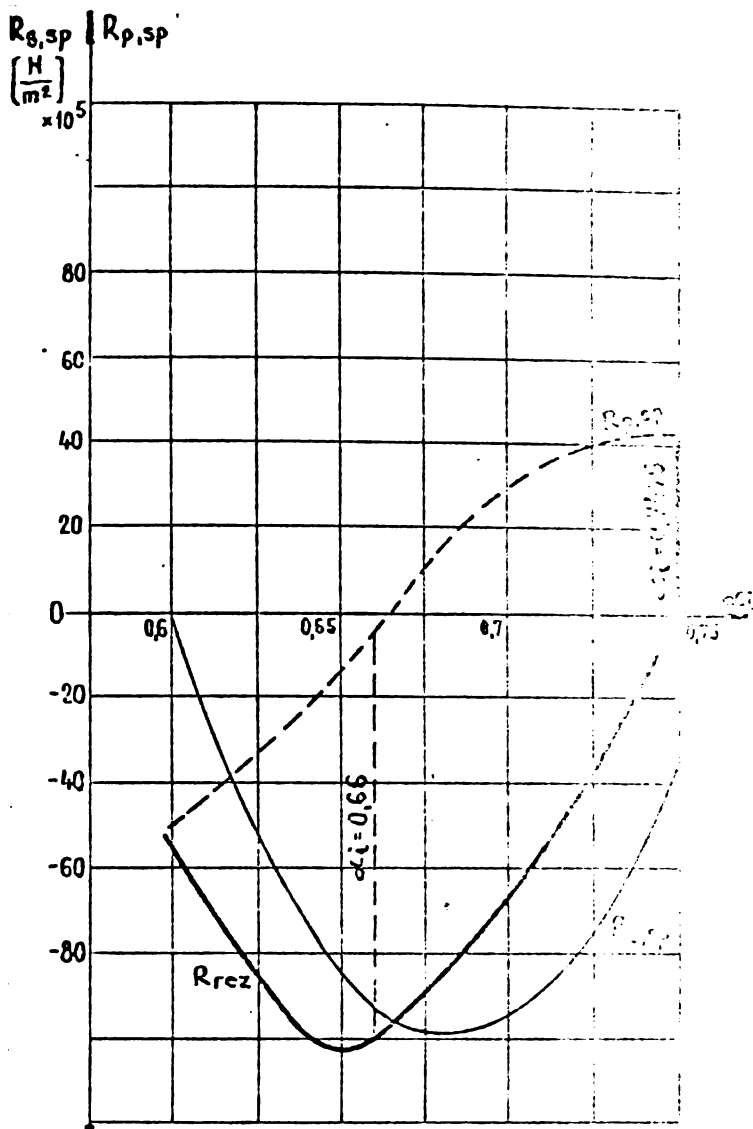


Fig. 89 - Hidrogeneratorul Nr. 17

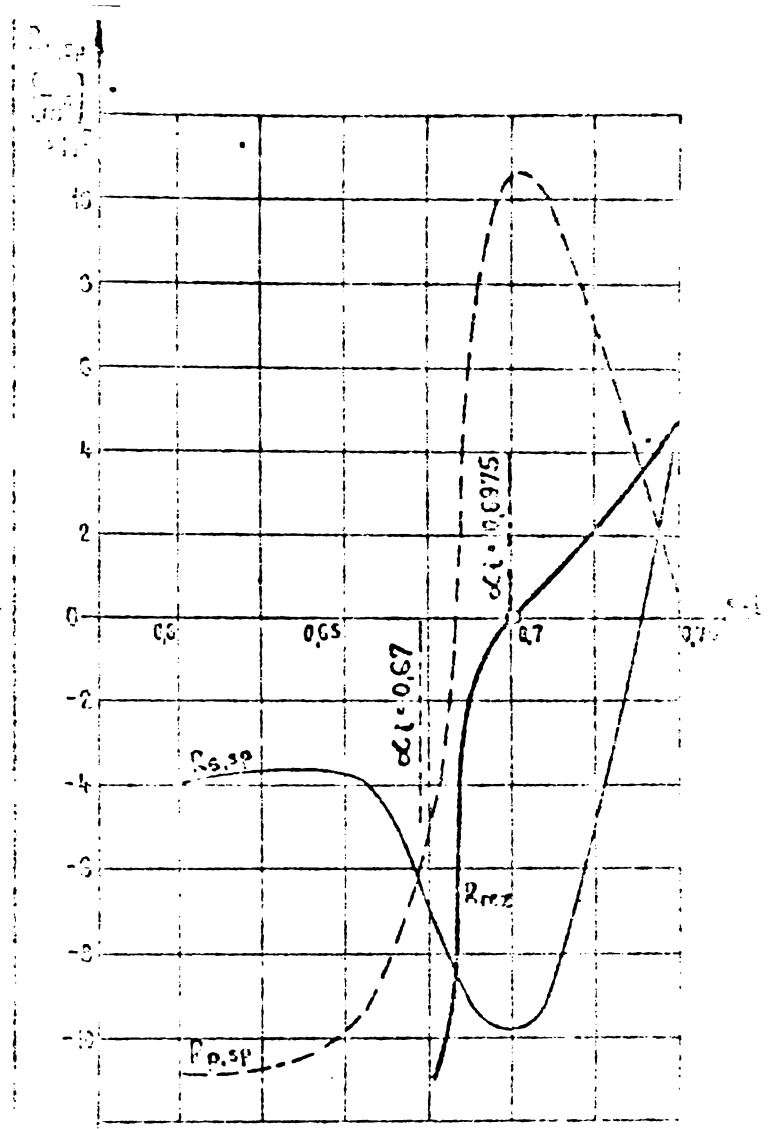


Fig. 90 - Hidrogeneratorul Nr. 13

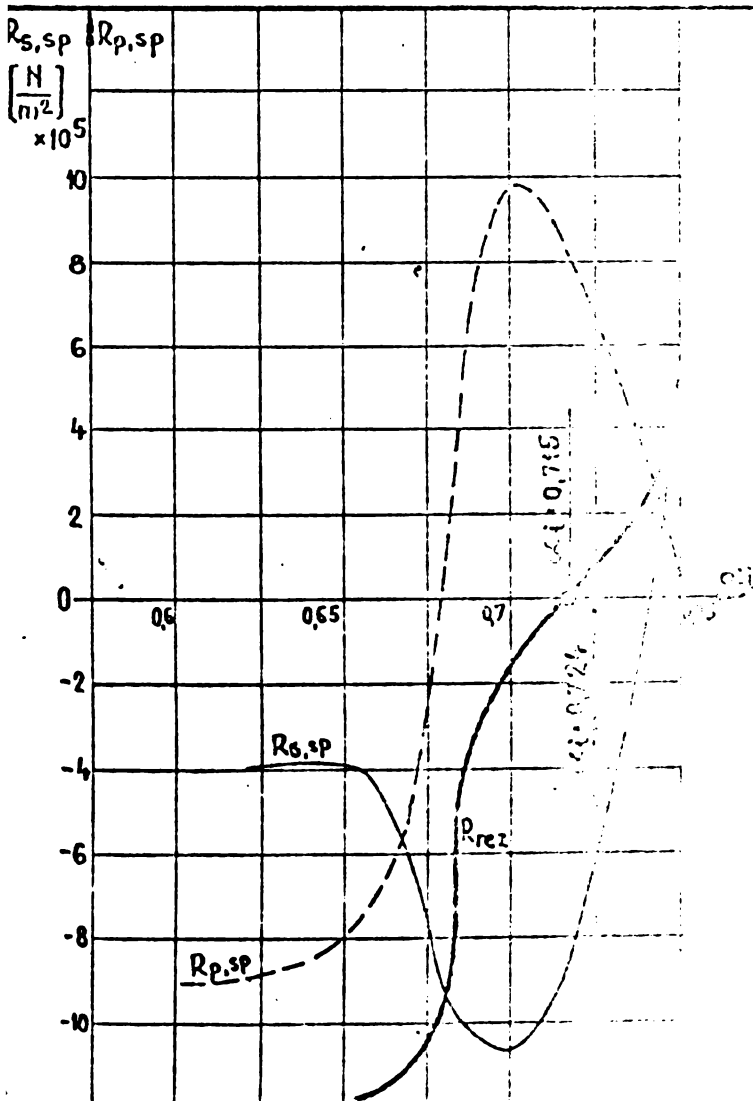


Fig. 91 - Hidrogeneratorul Nr. 14

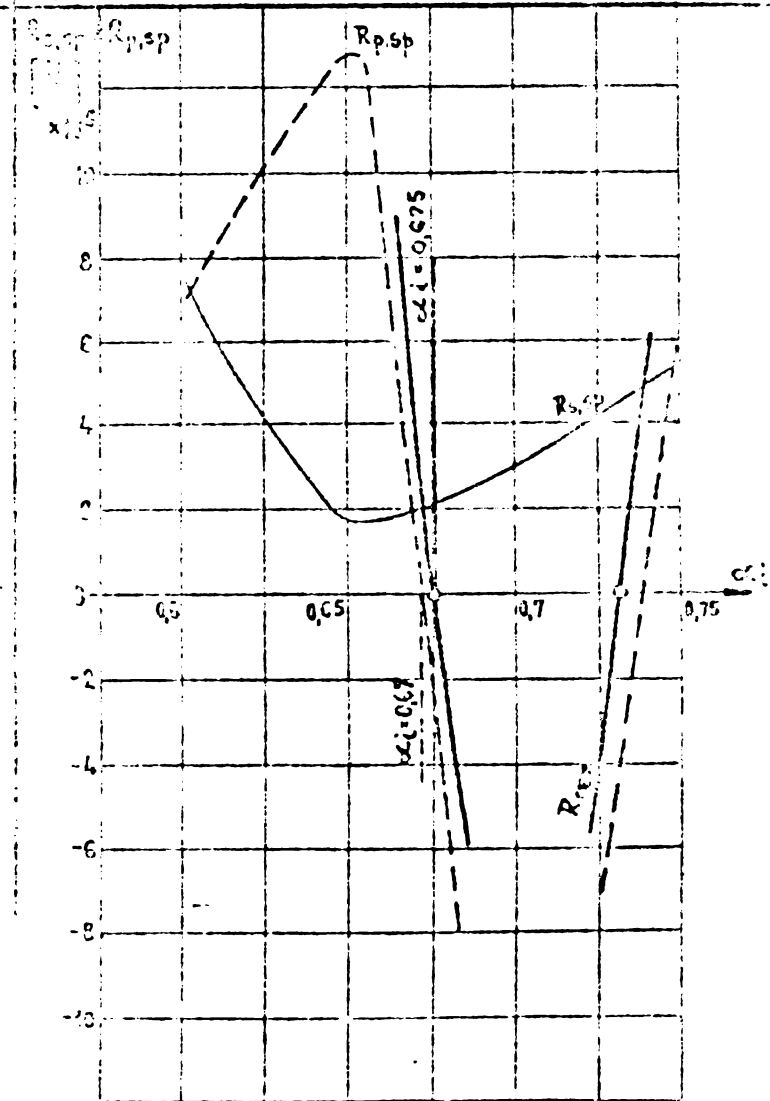


Fig. 92 - Hidrogeneratorul Nr. 20

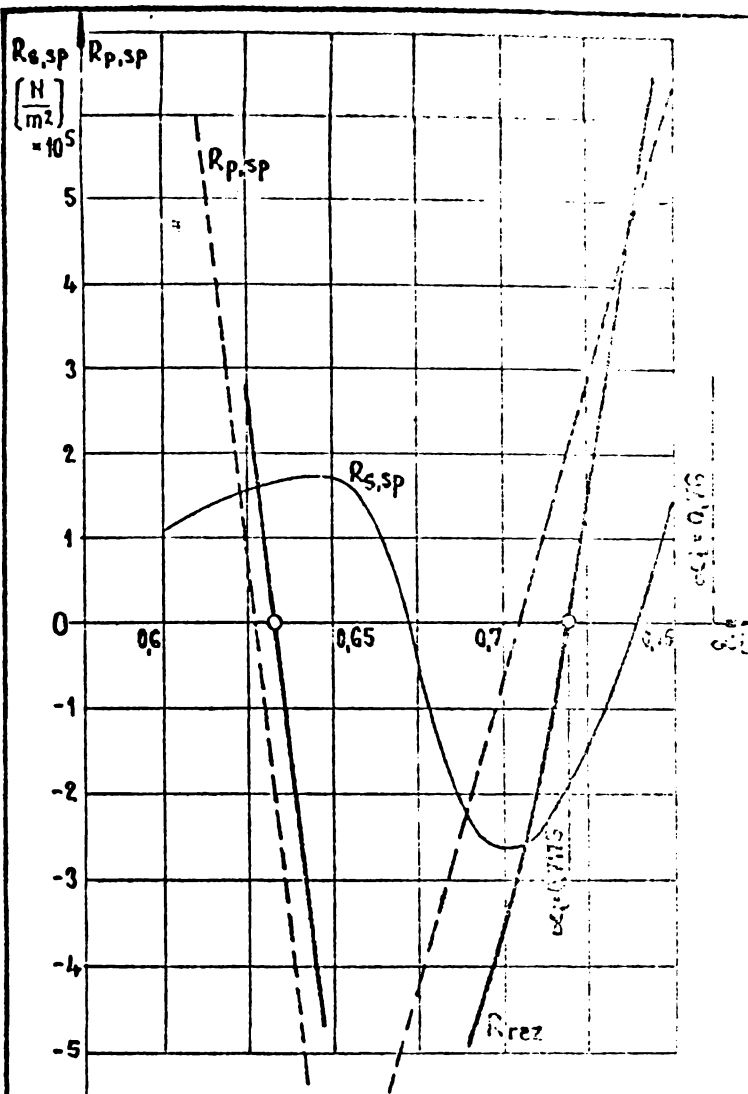


Fig. 93 - Hidrogeneratorul Nr. 21

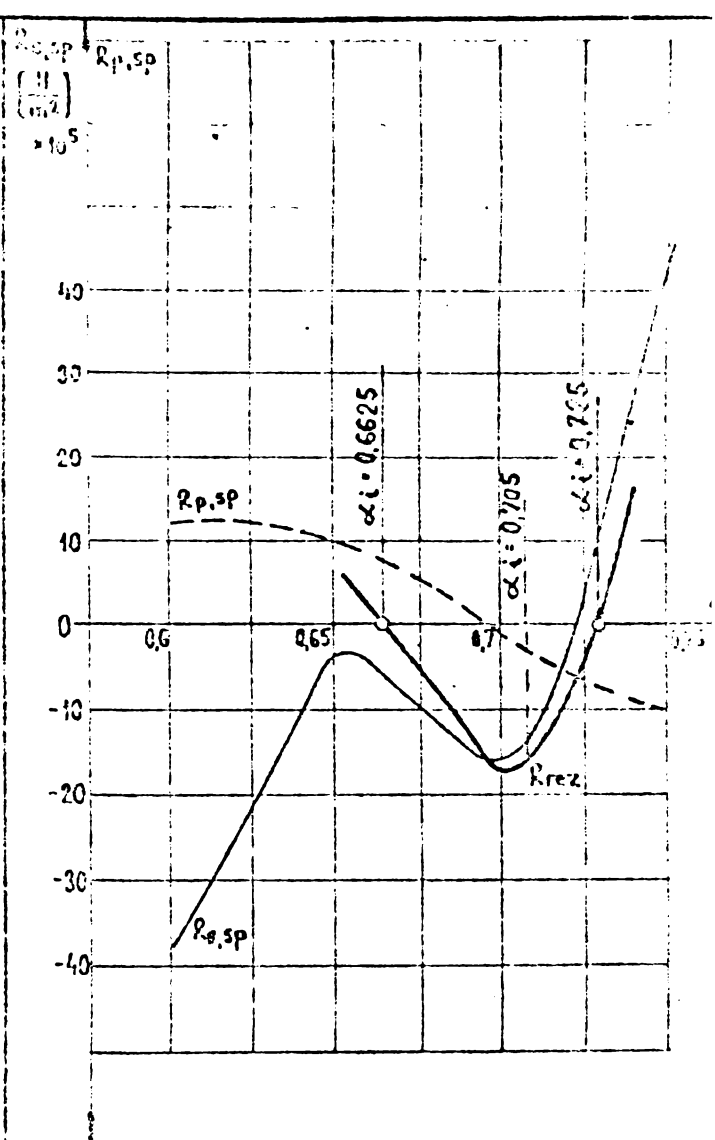


Fig. 94 - Hidrogeneratorul Nr. 22

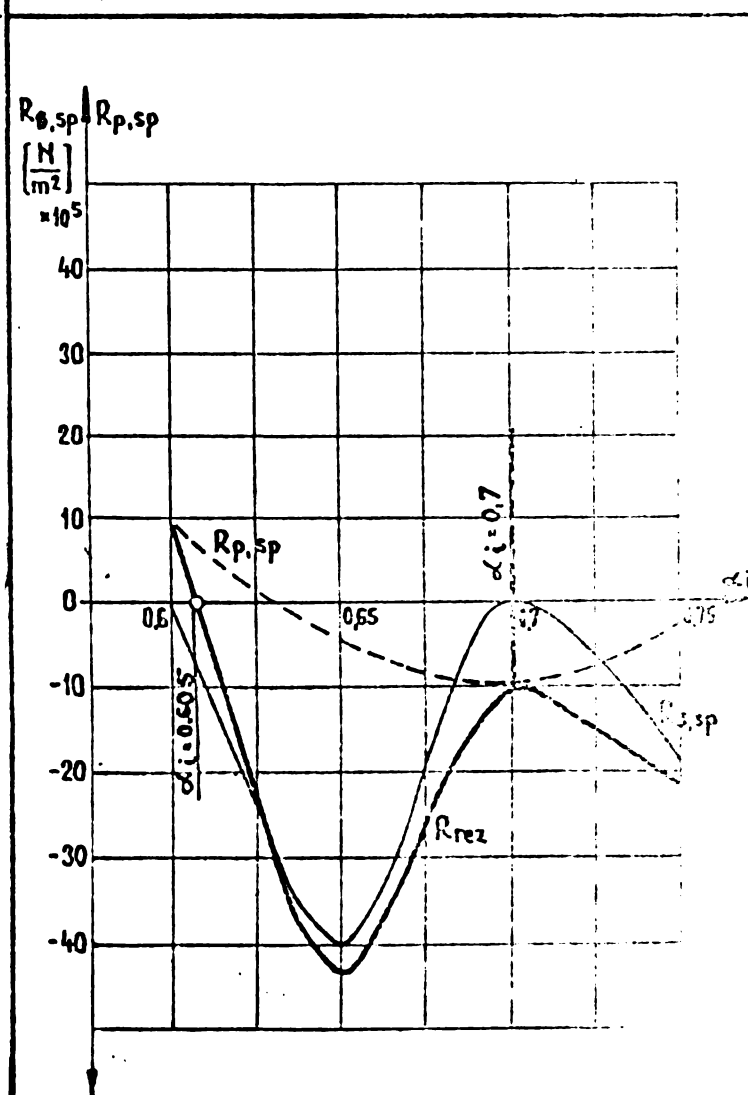


Fig. 95 - Hidrogeneratorul Nr. 23

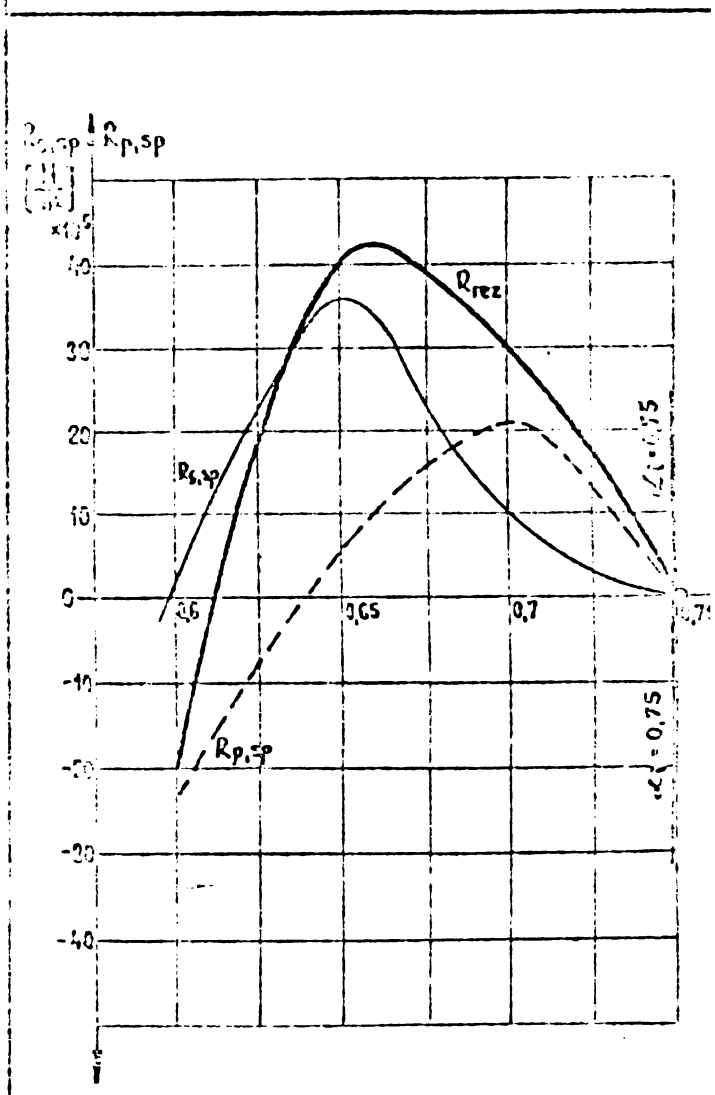


Fig. 96 - Hidrogeneratorul Nr. 24

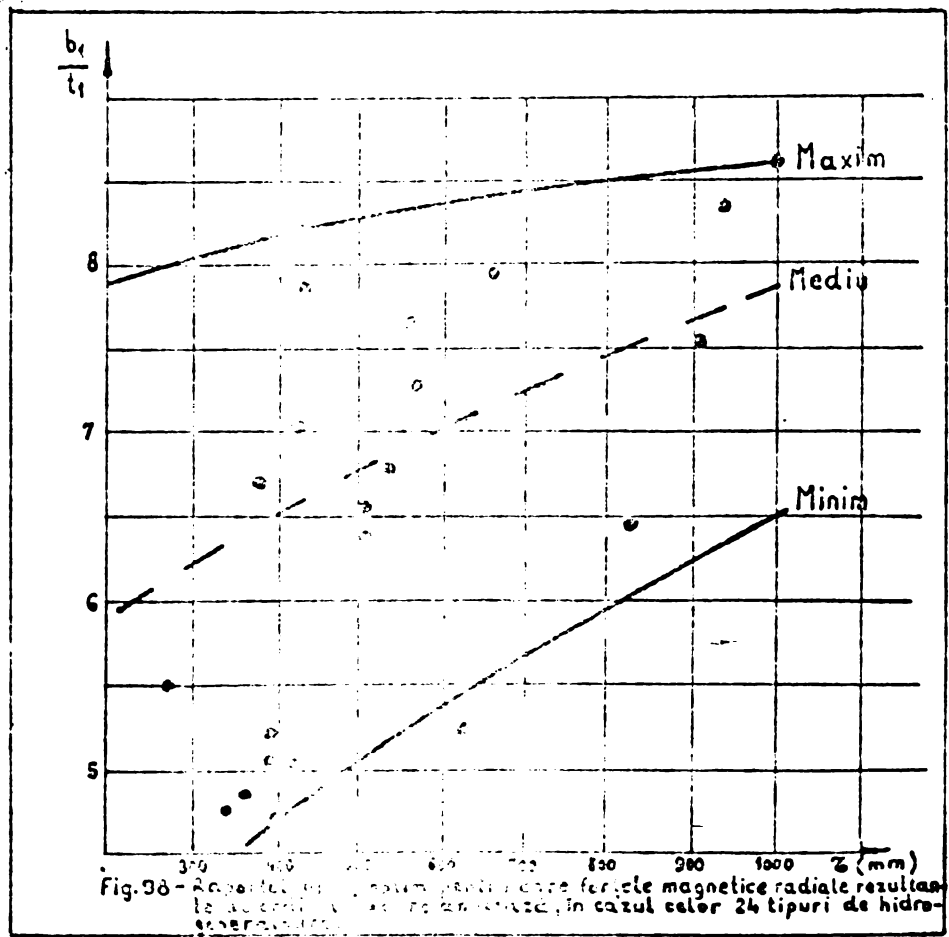
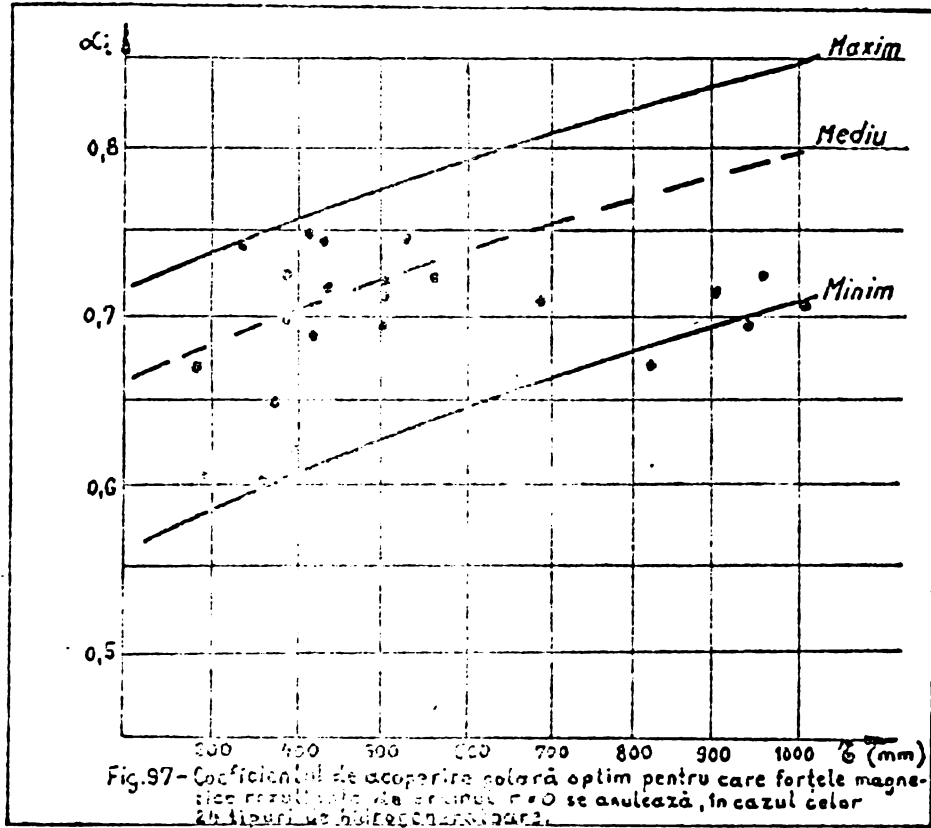


Tabela 49 - Tabloul armonicelor fracționare

| Nr. crt. HG | k                      |                     | Date            | 0              | 1                     | 2                     | 3                   | 4              | 5               | 6               | 7 | 8 | 9 |
|-------------|------------------------|---------------------|-----------------|----------------|-----------------------|-----------------------|---------------------|----------------|-----------------|-----------------|---|---|---|
|             | γ                      | κ <sub>γc</sub> [%] |                 | 100            | $\frac{6}{4}$<br>4,14 | $\frac{8}{4}$<br>0,06 | $\frac{10}{4}$<br>0 | $\frac{12}{4}$ |                 |                 |   |   |   |
| 1           | f <sub>r</sub> [Hz]    |                     | 150,50          | 200            | 250                   | 300                   |                     |                |                 |                 |   |   |   |
|             | f <sub>γret</sub> [Hz] |                     | 125             | 150            | 175                   | 200                   |                     |                |                 |                 |   |   |   |
|             | f <sub>γret</sub> [Hz] |                     | 25              | 50             | 75                    | 100                   |                     |                |                 |                 |   |   |   |
| 2           | γ                      | $\frac{11}{11}$     | $\frac{13}{11}$ | $\frac{7}{11}$ | $\frac{17}{11}$       | $\frac{5}{11}$        | $\frac{19}{11}$     | $\frac{1}{11}$ | $\frac{23}{11}$ | $\frac{25}{11}$ |   |   |   |
|             | κ <sub>γc</sub> [%]    |                     | 6,78            | 4,42           | 1,6                   | 3,4                   | 1                   | 2,78           | 0,35            | 0,12            |   |   |   |
|             | f <sub>r</sub> [Hz]    | 100                 | 118             | 63             | 154                   | 46                    | 173                 | 9              | 209             | 227             |   |   |   |
| 3           | f <sub>γret</sub> [Hz] |                     | 109             | 81,5           | 126                   | 73                    | 136                 |                |                 |                 |   |   |   |
|             | γ                      | $\frac{2}{2}$       | $\frac{4}{2}$   |                | $\frac{8}{2}$         |                       | $\frac{10}{2}$      |                |                 |                 |   |   |   |
|             | κ <sub>γc</sub> [%]    |                     | 2,85            |                | 1,8                   |                       |                     |                |                 |                 |   |   |   |
|             | f <sub>r</sub> [Hz]    | 100                 | 200             |                | 400                   |                       | 500                 |                |                 |                 |   |   |   |
|             | f <sub>γret</sub> [Hz] |                     | 150             |                | 250                   |                       | 300                 |                |                 |                 |   |   |   |
|             |                        |                     | 50              |                | 150                   |                       | 200                 |                |                 |                 |   |   |   |



| Nr. crt. HG | k                     |  | 0               | 1               | 2              | 3               | 4              | 5              | 6               | 7               | 8 | 9 |
|-------------|-----------------------|--|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|---|---|
|             | Date                  |  |                 |                 |                |                 |                |                |                 |                 |   |   |
| 5           | $\gamma$              |  | $\frac{7}{7}$   | $\frac{5}{7}$   | $\frac{11}{7}$ | $\frac{13}{7}$  | $\frac{1}{7}$  |                |                 |                 |   |   |
|             | $K_{\gamma c}$ [%]    |  |                 | 8,42            | 2,84           | 5,8             | 11,6           |                |                 |                 |   |   |
|             | $f_c$ [Hz]            |  | 100             | 71,5            | 157            | 186             | 14,3           |                |                 |                 |   |   |
|             | $f_{\gamma ret}$ [Hz] |  |                 |                 | 128            | 143             |                |                |                 |                 |   |   |
| 6           | $\gamma$              |  | $\frac{2}{2}$   |                 |                |                 | $\frac{10}{2}$ |                | $\frac{14}{2}$  |                 |   |   |
|             | $K_{\gamma c}$ [%]    |  |                 |                 |                |                 | 9,8            |                | 0               |                 |   |   |
|             | $f_c$ [Hz]            |  | 100             |                 |                |                 | 500            |                | 700             |                 |   |   |
|             | $f_{\gamma ret}$ [Hz] |  |                 |                 |                |                 | 300            |                | 400             |                 |   |   |
| 7           | $\gamma$              |  | $\frac{11}{11}$ | $\frac{13}{11}$ | $\frac{7}{11}$ | $\frac{17}{11}$ | $\frac{5}{11}$ | $\frac{1}{11}$ | $\frac{23}{11}$ | $\frac{25}{11}$ |   |   |
|             | $K_{\gamma c}$ [%]    |  |                 | 2,23            | 5,28           | 3,8             | 2,5            | 3,22           |                 |                 |   |   |
|             | $f_c$ [Hz]            |  | 100             | 118             | 63             | 154             | 46             | 9              | 209             | 227             |   |   |
|             | $f_{\gamma ret}$ [Hz] |  |                 | 109             | 81,5           | 126             | 73             | 36             |                 |                 |   |   |
|             |                       |  |                 | 9               | -18,5          | 27              | -27            |                |                 |                 |   |   |

| Nr. crt. HG | k                |      | 0             | 1              | 2              | 3              | 4              | 5              | 6              | 7              | 8              | 9              |
|-------------|------------------|------|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|             | Date             |      |               |                |                |                |                |                |                |                |                |                |
| 8           | $\gamma$         |      | $\frac{7}{7}$ | $\frac{5}{7}$  | $\frac{11}{7}$ | $\frac{13}{7}$ | $\frac{1}{7}$  |                | $\frac{17}{7}$ | $\frac{19}{7}$ | $\frac{23}{7}$ | $\frac{27}{7}$ |
|             | $k_{\gamma c}$   | [%]  |               | 2,65           | 2,9            | 0,8            | 3,9            |                |                |                |                |                |
|             | $f_r$            | [Hz] | 100           | 71,5           | 158            | 185            | 14             |                | 243            | 271            | 329            | 386            |
|             | $f_{\gamma rot}$ | [Hz] |               | 86             | 129            | 143            | 57             |                | 171            | 185            | 215            | 244            |
| 9           | $\gamma$         |      | $\frac{5}{5}$ | $\frac{7}{5}$  | $\frac{1}{5}$  | $\frac{11}{5}$ | $\frac{13}{5}$ |                |                |                |                |                |
|             | $k_{\gamma c}$   | [%]  |               | 5,76           | 6,08           | 0,54           | 0,65           |                |                |                |                |                |
|             | $f_r$            | [Hz] | 100           | 140            | 20             | 220            | 260            |                |                |                |                |                |
|             | $f_{\gamma rot}$ | [Hz] |               | 120            |                | 160            | 180            |                |                |                |                |                |
| 10          | $\gamma$         |      | $\frac{8}{8}$ | $\frac{10}{8}$ | $\frac{4}{8}$  | $\frac{14}{8}$ | $\frac{2}{8}$  | $\frac{16}{8}$ |                |                |                |                |
|             | $k_{\gamma c}$   | [%]  |               | 4,89           | 4,54           | 1,1            | 3,6            | 0,54           |                |                |                |                |
|             | $f_r$            | [Hz] | 100           | 125            | 50             | 175            | 25             | 200            |                |                |                |                |
|             | $f_{\gamma rot}$ | [Hz] |               | 113            | 75             | 139            | 150            |                |                |                |                |                |

| Nr. crt. HG | k                 |                 | 1               | 2               | 3               | 4              | 5               | 6              | 7               | 8              | 9 |
|-------------|-------------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|-----------------|----------------|---|
|             | Date              |                 |                 |                 |                 |                |                 |                |                 |                |   |
| 11          | $\gamma$          | $\frac{14}{14}$ | $\frac{16}{14}$ | $\frac{10}{14}$ | $\frac{20}{14}$ | $\frac{8}{14}$ | $\frac{22}{14}$ | $\frac{4}{14}$ | $\frac{26}{14}$ | $\frac{2}{14}$ |   |
|             | $k_{\%}$          | [%]             | 3,96            | 2,78            | 0,9             | 2              | 0,755           | 1,45           | 0,38            | 1,4            |   |
|             | $f_r$             | [Hz]            | 114             | 71,5            | 143             | 57             | 157             | 28,6           | 186             | 14             |   |
|             | $f_{\text{vret}}$ | [Hz]            | 107             | 86              | 121             |                | 128             |                | 143             |                |   |
| 14          | $\gamma$          | $\frac{2}{2}$   | $\frac{4}{2}$   |                 | $\frac{8}{2}$   |                | $\frac{10}{2}$  |                |                 |                |   |
|             | $k_{\%}$          | [%]             | 0,9             |                 | 2,2             |                | 1,4             |                |                 |                |   |
|             | $f_r$             | [Hz]            | 200             |                 | 400             |                | 500             |                |                 |                |   |
|             | $f_{\text{vret}}$ | [Hz]            | 150             |                 | 250             |                | 300             |                |                 |                |   |
| 16          | $\gamma$          | $\frac{5}{5}$   | $\frac{7}{5}$   | $\frac{1}{5}$   |                 |                |                 |                |                 |                |   |
|             | $k_{\%}$          | [%]             | 1,62            | 4,93            |                 |                |                 |                |                 |                |   |
|             | $f_r$             | [Hz]            | 140             | 20              |                 |                |                 |                |                 |                |   |
|             | $f_{\text{vret}}$ | [Hz]            | 120             |                 |                 |                |                 |                |                 |                |   |

| Nr. crt. HG | k                  |               | 1             | .2            | 3              | 4              | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------|--------------------|---------------|---------------|---------------|----------------|----------------|---|---|---|---|---|
|             | Date               |               |               |               |                |                |   |   |   |   |   |
| 20          | $\nu$              | $\frac{2}{2}$ | $\frac{4}{2}$ |               | $\frac{8}{2}$  | $\frac{10}{2}$ |   |   |   |   |   |
|             | $K_{\nu 0}$ [%]    |               | 1,67          |               | 1,29           | 0,28           |   |   |   |   |   |
|             | $f_r$ [Hz]         | 100           | 200           |               | 400            | 500            |   |   |   |   |   |
|             | $f_{\nu rot}$ [Hz] |               | 150<br>50     |               | 250<br>150     | 300<br>200     |   |   |   |   |   |
| 21          | $\nu$              | $\frac{4}{4}$ | $\frac{2}{4}$ | $\frac{8}{4}$ | $\frac{10}{4}$ |                |   |   |   |   |   |
|             | $K_{\nu 0}$ [%]    |               | 6,91          | 0,4           | 1,26           |                |   |   |   |   |   |
|             | $f_r$ [Hz]         | 100           | 50            | 200           | 250            |                |   |   |   |   |   |
|             | $f_{\nu rot}$ [Hz] |               |               | 150<br>50     | 175<br>75      |                |   |   |   |   |   |
| 22          | $\nu$              | $\frac{5}{5}$ | $\frac{7}{5}$ | $\frac{1}{5}$ | $\frac{11}{5}$ |                |   |   |   |   |   |
|             | $K_{\nu 0}$ [%]    |               | 5,79          | 6,23          | 0,03           |                |   |   |   |   |   |
|             | $f_r$ [Hz]         | 100           | 140           | 20            | 220            |                |   |   |   |   |   |
|             | $f_{\nu rot}$ [Hz] |               | 120<br>20     |               | 160<br>60      |                |   |   |   |   |   |

| Nr. crt. HG | k                |      | Date          | 1              | 2             | 3              | 4              | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 |
|-------------|------------------|------|---------------|----------------|---------------|----------------|----------------|---|---|---|---|---|
|             |                  |      |               |                |               |                |                |   |   |   |   |   |
| 23          | $\gamma$         |      | $\frac{8}{8}$ | $\frac{10}{8}$ | $\frac{4}{8}$ | $\frac{14}{8}$ | $\frac{16}{8}$ |   |   |   |   |   |
|             | $K_{\gamma c}$   | [%]  |               | 4,89           | 4,54          | 1,1            | 0,5            |   |   |   |   |   |
|             | $f_r$            | [Hz] | 100           | 125            | 50            | 175            | 200            |   |   |   |   |   |
|             | $f_{\gamma rot}$ | [Hz] |               | 113            |               | 137            | 150            |   |   |   |   |   |
| 24          | $\gamma$         |      | $\frac{8}{8}$ | $\frac{10}{8}$ | $\frac{4}{8}$ | $\frac{14}{8}$ | $\frac{16}{8}$ |   |   |   |   |   |
|             | $K_{\gamma c}$   | [%]  |               | 3,6            | 2,28          | 2,85           | 3,28           |   |   |   |   |   |
|             | $f_r$            | [Hz] | 100           | 125            | 50            | 175            | 200            |   |   |   |   |   |
|             | $f_{\gamma rot}$ | [Hz] |               | 113            |               | 137            | 150            |   |   |   |   |   |

Tabela 50 - Frecvențele oscilațiilor proprii ale fierului  
activ  $f_{rPe}$  în Hz

| Nr.<br>excitant | r=0 | r=1 | r=2    | r=3    | r=4   | r=5    | r=2p  | $r=\frac{2p}{d}$ | $r=2p--N1$ |
|-----------------|-----|-----|--------|--------|-------|--------|-------|------------------|------------|
| 1.              | 262 | 0   | 0,075  | 0,21   | 0,405 | 0,65   | 13    | 0,95             | 20,57      |
| 2.              | 157 | 0   | 0,015  | 0,04   | 0,07  | 0,13   | 8     | 0,08             | 8,05       |
| 3.              | 248 | 0   | 0,06   | 0,17   | 0,32  | 0,51   | 13    | 3,92             | 12,82      |
| 4.              | 149 | 0   | 0,017  | 0,047  | 0,09  | 0,14   | 6     | -                | 8,25       |
| 5.              | 408 | 0   | 0,29   | 0,8    | 1,5   | 2,45   | 16,48 | 0,29             | 22,7       |
| 6.              | 240 | 0   | 0,073  | 0,2    | 0,39  | 0,63   | 8,5   | 2,5              | 13,06      |
| 7.              | 206 | 0   | 0,025  | 0,07   | 0,14  | 0,22   | 15    | 0,14             | 18,03      |
| 8.              | 123 | 0   | 0,006  | 0,018  | 0,036 | 0,057  | 1,8   | 0,036            | 39,4       |
| 9.              | 108 | 0   | 0,006  | 0,016  | 0,03  | 0,048  | 5,8   | 0,28             | 6,4        |
| 10.             | 110 | 0   | 0,005  | 0,014  | 0,027 | 0,044  | 6,17  | 0,12             | 7,04       |
| 11.             | 117 | 0   | 0,0075 | 0,02   | 0,04  | 0,066  | 6,34  | 0,04             | 9,08       |
| 12.             | 307 | 0   | 0,23   | 0,65   | 1,2   | 1,9    | 6,45  | -                | 16,6       |
| 13.             | 246 | 0   | 0,13   | 0,35   | 0,66  | 1,04   | 6,46  | -                | 7,38       |
| 14.             | 197 | 0   | 0,07   | 0,190  | 0,37  | 0,6    | 4,8   | 1,49             | 6,6        |
| 15.             | 48  | 0   | 0,0011 | 0,0031 | 0,006 | 0,0097 | 2,13  | -                | 2,54       |
| 16.             | 355 | 0   | 0,25   | 0,69   | 1,3   | 2,08   | 7,85  | 0,25             | 21,2       |
| 17.             | 214 | 0   | 0,03   | 0,09   | 0,18  | 0,29   | 12,9  | -                | 10,85      |
| 18.             | 297 | 0   | 0,2    | 0,57   | 1,08  | 1,7    | 5,95  | -                | 10,63      |
| 19.             | 237 | 0   | 0,126  | 0,35   | 0,66  | 1,04   | 4,93  | -                | 7,92       |
| 20.             | 403 | 0   | 0,45   | 1,25   | 2,34  | 3,64   | 8,5   | 2,33             | 17,73      |
| 21.             | 231 | 0   | 0,09   | 0,26   | 0,5   | 0,8    | 6,84  | 0,5              | 14,1       |
| 22.             | 109 | 0   | 0,005  | 0,015  | 0,029 | 0,047  | 5,7   | 0,28             | 5,89       |
| 23.             | 115 | 0   | 0,005  | 0,015  | 0,028 | 0,046  | 6,4   | 0,12             | 7,46       |
| 24.             | 203 | 0   | 0,034  | 0,096  | 0,18  | 0,29   | 10    | 0,18             | 13,3       |

Tabela 51 - Frecvențele oscilațiilor proprii ale carcasei

$f_{car}$  în Hz

| Nr. curent | r=0 | r=1 | r=2   | r=3   | r=4 | r=5 | r=2p  | $r=\frac{2p}{d}$ | $r=2p-N_1$ |
|------------|-----|-----|-------|-------|-----|-----|-------|------------------|------------|
| 1.         | 0   | 0   | 26,63 | 75,22 | 144 | 234 | 5702  | 343              | 609676     |
| 2.         | 0   | 0   | 19    | 53,68 | 103 | 166 | 15684 | 103              | 509200     |
| 3.         | 0   | 0   | 28    | 80    | 154 | 248 | 8258  | 2053             | 346072     |
| 4.         | 0   | 0   | 17    | 48    | 93  | 150 | 8234  | -                | 563309     |
| 5.         | 0   | 0   | 33    | 92    | 177 | 286 | 2360  | 32,56            | 171452     |
| 6.         | 0   | 0   | 31    | 88    | 168 | 272 | 4605  | 1138             | 417575     |
| 7.         | 0   | 0   | 41    | 116   | 222 | 359 | 29493 | 222              | 1527648    |
| 8.         | 0   | 0   | 33    | 94    | 180 | 292 | 9700  | 180              | 832388     |
| 9.         | 0   | 0   | 14    | 40    | 77  | 125 | 19142 | 758              | 722901     |
| 10.        | 0   | 0   | 12    | 35    | 67  | 108 | 18780 | 287              | 866866     |
| 11.        | 0   | 0   | 12    | 32    | 62  | 100 | 13347 | 62               | 1334191    |
| 12.        | 0   | 0   | 38    | 109   | 208 | 337 | 1409  | -                | 409776     |
| 13.        | 0   | 0   | 38    | 108   | 208 | 336 | 2779  | -                | 177863     |
| 14.        | 0   | 0   | 38    | 108   | 209 | 336 | 5634  | 893              | 327594     |
| 15.        | 0   | 0   | 16    | 45    | 86  | 139 | 41783 | -                | 2696024    |
| 16.        | 0   | 0   | 37    | 105   | 201 | 326 | 1363  | 37               | 247900     |
| 17.        | 0   | 0   | 34    | 95    | 183 | 296 | 16285 | -                | 411045     |
| 18.        | 0.  | 0   | 18    | 50    | 96  | 155 | 651   | -                | 81269      |
| 19.        | 0   | 0   | 32    | 90    | 172 | 278 | 1683  | -                | 208048     |
| 20.        | 0   | 0   | 67    | 189   | 362 | 585 | 1553  | 362              | 249999     |
| 21.        | 0   | 0   | 44    | 123   | 236 | 382 | 4133  | 236              | 737887     |
| 22.        | 0   | 0   | 13    | 38    | 73  | 118 | 18004 | 713              | 722902     |
| 23.        | 0   | 0   | 15    | 42    | 80  | 130 | 22596 | 345              | 1083582    |
| 24.        | 0   | 0   | 27    | 77    | 149 | 240 | 10434 | 149              | 589600     |

Tabela 52 - Frecvențele oscilațiilor proprii ale statorului  
 $f_{rst}$  în Hz

| Nr. curent | r=0 | r=1 | r=2 | r=3 | r=4 | r=5 | r=2p  | $r=\frac{2p}{d}$ | $r=2p-11$<br>(x 103) |
|------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-------|------------------|----------------------|
| 1.         | 173 | 0   | 20  | 57  | 108 | 175 | 4210  | 257              | 457                  |
| 2.         | 102 | 0   | 14  | 41  | 78  | 127 | 10401 | 78               | 387                  |
| 3.         | 144 | 0   | 23  | 65  | 125 | 202 | 6722  | 1671             | 282                  |
| 4.         | 102 | 0   | 12  | 35  | 63  | 109 | 6007  | -                | 411                  |
| 5.         | 291 | 0   | 23  | 65  | 124 | 200 | 1655  | 23               | 120                  |
| 6.         | 194 | 0   | 18  | 52  | 99  | 160 | 2714  | 671              | 246                  |
| 7.         | 143 | 0   | 29  | 83  | 159 | 258 | 21189 | 159              | 1097                 |
| 8.         | 91  | 0   | 23  | 64  | 122 | 198 | 6581  | 122              | 565                  |
| 9.         | 79  | 0   | 10  | 28  | 53  | 86  | 13216 | 523              | 500                  |
| 10.        | 76  | 0   | 9   | 25  | 49  | 79  | 13682 | 209              | 631                  |
| 11.        | 86  | 0   | 8   | 22  | 42  | 68  | 9061  | 42               | 940                  |
| 12.        | 262 | 0   | 20  | 56  | 108 | 175 | 733   | -                | 213                  |
| 13.        | 206 | 0   | 21  | 59  | 114 | 184 | 1518  | -                | 97                   |
| 14.        | 180 | 0   | 16  | 44  | 85  | 137 | 1483  | 364              | 133                  |
| 15.        | 54  | 0   | 11  | 52  | 61  | 99  | 29587 | -                | 1906                 |
| 16.        | 243 | 0   | 27  | 77  | 147 | 258 | 995   | 27               | 181                  |
| 17.        | 142 | 0   | 25  | 72  | 157 | 222 | 12207 | -                | 308                  |
| 18.        | 251 | 0   | 10  | 27  | 57  | 84  | 351   | -                | 44                   |
| 19.        | 206 | 0   | 16  | 44  | 85  | 138 | 834   | -                | 103                  |
| 20.        | 357 | 0   | 56  | 103 | 198 | 320 | 849   | 198              | 137                  |
| 21.        | 188 | 0   | 25  | 72  | 137 | 222 | 2399  | 137              | 428                  |
| 22.        | 77  | 0   | 10  | 27  | 52  | 84  | 12838 | 508              | 515                  |
| 23.        | 77  | 0   | 11  | 31  | 60  | 96  | 16761 | 256              | 804                  |
| 24.        | 150 | 0   | 18  | 52  | 100 | 161 | 7006  | 100              | 396                  |



Tabela 53 - Frecvențele rezonanță determinate de armonicile fracționare

| Nr. curent hidrogenerat | Armonica fracționară |            | Stator |                | Armonica fracționară |            | Stator |                | Nr. curent hidrogenerat |
|-------------------------|----------------------|------------|--------|----------------|----------------------|------------|--------|----------------|-------------------------|
|                         | $\gamma$             | $f_r$ [Hz] | r      | $f_{rst}$ [Hz] | $\gamma$             | $f_r$ [Hz] | r      | $f_{rst}$ [Hz] |                         |
| 1.                      | 2/4                  | 50         | 3      | 57             | 4/2                  | 200        | 4      | 198            | 20                      |
|                         | 6/4                  | 150        | 0      | 173            | 8/4                  | 200        | 5      | 222            | 21                      |
|                         | 8/4                  | 200        | 6      | 257            | 1/5                  | 20         | 3      | 27             | 22                      |
|                         | 10/4                 | 250        | 6      | 257            | 2/8                  | 25         | 3      | 31             | 23                      |
| 2.                      | 7/11                 | 63         | 4      | 78             | 4/8                  | 50         | 4      | 60             |                         |
|                         | 13/11                | 118        | 5      | 127            | 16/8                 | 200        | 8      | 256            |                         |
| 3.                      | 4/2                  | 200        | 5      | 202            | 4/8                  | 50         | 3      | 52             | 24                      |
| 5.                      | 5/7                  | 71,5       | 3      | 65             | 10/8                 | 125        | 0      | 150            |                         |
|                         | 13/7                 | 186        | 5      | 200            |                      |            |        |                |                         |
| 6.                      | 10/2                 | 500        | 10     | 671            |                      |            |        |                |                         |
| 7.                      | 7/11                 | 63         | 3      | 83             |                      |            |        |                |                         |
|                         | 17/11                | 154        | 4      | 159            |                      |            |        |                |                         |
|                         | 23/11                | 209        | 5      | 258            |                      |            |        |                |                         |
| 8.                      | 5/7                  | 71,5       | 0      | 91             |                      |            |        |                |                         |
|                         | 13/7                 | 185        | 5      | 198            |                      |            |        |                |                         |
| 9.                      | 1/5                  | 20         | 3      | 28             |                      |            |        |                |                         |
| 10.                     | 2/8                  | 25         | 3      | 25             |                      |            |        |                |                         |
|                         | 4/8                  | 50         | 4      | 49             |                      |            |        |                |                         |
|                         | 16/8                 | 200        | 8      | 209            |                      |            |        |                |                         |
| 11.                     | 8/14                 | 57         | 5      | 63             |                      |            |        |                |                         |
| 14.                     | 4/2                  | 200        | 0      | 180            |                      |            |        |                |                         |
|                         | 8/2                  | 400        | 8      | 364            |                      |            |        |                |                         |
| 16.                     | 1/5                  | 20         | 2      | 27             |                      |            |        |                |                         |
|                         | 7/5                  | 140        | 4      | 147            |                      |            |        |                |                         |

Tabela 54 - Deformațiile fierului activ al statorului  $\gamma'$  rFe pentru cazul ajustajului cu joc, în [cm].

| Nr. curent | r=0    | r=2     | r=3      | r=4     | r=5      | r=2p       | $r=\frac{2p}{d}$ | $r=2p-\frac{N1}{(x \cdot 10^{-7})}$ |
|------------|--------|---------|----------|---------|----------|------------|------------------|-------------------------------------|
| 1.         | 4,87   | 0,5437  | 0,076895 | 0,02204 | 0,008697 | 0,00002433 | 0,004138         | 0,907                               |
| 2.         | 50,29  | 5,595   | 0,788    | 0,2247  | 0,088039 | 0,000022   | 0,2247           | 2,33                                |
| 3.         | 5,34   | 0,596   | 0,0843   | 0,02413 | 0,00951  | 0,0000153  | 0,000167         | 1,56                                |
| 4.         | 27,63  | 3,077   | 0,4338   | 0,1233  | 0,04859  | 0,0000273  | -                | 1,57                                |
| 5.         | 0,5369 | 0,06042 | 0,00863  | 0,0025  | 0,001    | 0,000023   | 0,0604           | 1,227                               |
| 6.         | 3,5    | 0,3917  | 0,0555   | 0,01596 | 0,00632  | 0,000036   | 0,000414         | 1,57                                |
| 7.         | 264,9  | 29,47   | 4,149    | 1,1827  | 0,4631   | 0,000109   | 1,18269          | 7,39                                |
| 8.         | 92,25  | 10,25   | 1,443    | 0,411   | 0,1608   | 0,000169   | 0,41105          | 2,214                               |
| 9.         | 184,22 | 20,48   | 2,88     | 0,82    | 0,321    | 0,000022   | 0,009228         | 1,88                                |
| 10.        | 233,97 | 26      | 3,66     | 1,042   | 0,4076   | 0,0000219  | 0,05947          | 1,66                                |
| 11.        | 118,63 | 13,19   | 1,858    | 0,529   | 0,2074   | 0,000023   | 0,529            | 1,127                               |
| 12.        | 0,36   | 0,04137 | 0,00605  | 0,00181 | 0,00075  | 0,000067   | -                | 1,02                                |
| 13.        | 1,07   | 0,12    | 0,0175   | 0,00516 | 0,0021   | 0,000057   | -                | 4,32                                |
| 14.        | 2,1    | 0,2378  | 0,034    | 0,00938 | 0,004    | 0,0000637  | 0,000659         | 3,38                                |
| 15.        | 616,48 | 68,53   | 9,64     | 2,745   | 1,0735   | 0,000023   | -                | 1,6                                 |

| Nr. current | r=0     | r=2     | r=3      | r=4      | r=5      | r=2p      | $r=\frac{2p}{d}$ | $r=2p-N1$<br>(x 10 <sup>-N1</sup> ) |
|-------------|---------|---------|----------|----------|----------|-----------|------------------|-------------------------------------|
| 16.         | 0,5885  | 0,0663  | 0,00948  | 0,00276  | 0,0011   | 0,00008   | 0,0663           | 1,12                                |
| 17.         | 24,18   | 2,69    | 0,3793   | 0,108    | 0,04243  | 0,0000223 | -                | 3,12                                |
| 18.         | 0,43    | 0,0491  | 0,00714  | 0,00212  | 0,000874 | 0,0000735 | -                | 2,34                                |
| 19.         | 0,722   | 0,0822  | 0,01191  | 0,003528 | 0,001448 | 0,000067  | -                | 2,585                               |
| 20.         | 0,1637  | 0,01887 | 0,002715 | 0,000837 | 0,00035  | 0,000066  | 0,000837         | 1,542                               |
| 21.         | 1,7664  | 0,19848 | 0,0283   | 0,0082   | 0,00328  | 0,0000467 | 0,0082           | 1,1                                 |
| 22.         | 207,147 | 23,03   | 3,24     | 0,9229   | 0,361    | 0,000025  | 0,01035          | c                                   |
| 23.         | 256,119 | 28,47   | 4        | 1,14     | 0,446    | 0,0000236 | 0,06508          | 0,23                                |
| 24.         | 18,48   | 2,058   | 0,2904   | 0,083    | 0,03261  | 0,0000296 | 0,083            | 1,69                                |

Tabela 55 ~ Deformațiile statorului  $\gamma'_{rst}$  pentru cazul ajustajului rigid, în [cm]

| Nr. curent | r=0<br>(x10 <sup>-7</sup> ) | r=2<br>(x10 <sup>-7</sup> ) | r=3<br>(x10 <sup>-7</sup> ) | r=4<br>(x10 <sup>-7</sup> ) | r=5<br>(x10 <sup>-7</sup> ) | r=2p<br>(x10 <sup>-7</sup> ) | r= $\frac{2p}{d}$<br>(x10 <sup>-7</sup> ) | r=2p-N1<br>(x10 <sup>-14</sup> ) |
|------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|---|----------------------------------|
| 1.         | 10,246                      | 1,1143                      | 0,1617                      | 0,0463                      | 0,0183                      | 0,0000512                    | 0,0087                                    | 1,9                              |
| 2.         | 19,39                       | 2,158                       | 0,3039                      | 0,08665                     | 0,03395                     | 0,0000085                    | 0,08665                                   | 0,897                            |
| 3.         | 5,1397                      | 0,573                       | 0,081                       | 0,0232                      | 0,00914                     | 0,0000147                    | 0,000161                                  | 1,5                              |
| 4.         | 20,78                       | 2,313                       | 0,326                       | 0,0931                      | 0,0365                      | 0,0000206                    | -   | -                                |
| 5.         | 5,617                       | 0,632                       | 0,0903                      | 0,0262                      | 0,01053                     | 0,000024                     | 0,63216                                   | 12,8                             |
| 6.         | 10,697                      | 1,5315                      | 0,21707                     | 0,0624                      | 0,0247                      | 0,0001407                    | 0,001619                                  | 6,02                             |
| 7.         | 41,286                      | 4,592                       | 0,6467                      | 0,1843                      | 0,07217                     | 0,000017                     | 0,1843                                    | 1,15                             |
| 8.         | 10,52                       | 1,1695                      | 0,1646                      | 0,04687                     | 0,01833                     | 0,0000193                    | 0,04687                                   | 0,25                             |
| 9.         | 47,11                       | 5,238                       | 0,737                       | 0,2099                      | 0,0821                      | 0,0000058                    | 0,00236                                   | 0,479                            |
| 10.        | 53,627                      | 5,962                       | 0,8389                      | 0,23887                     | 0,0934                      | 0,0000050                    | 0,01363                                   | 0,38                             |
| 11.        | 98,54                       | 10,962                      | 0,0154                      | 0,44                        | 0,1723                      | 0,0000193                    | 0,44                                      | 0,935                            |
| 12.        | 10,5146                     | 1,207                       | 0,176                       | 0,0528                      | 0,022                       | 0,001954                     | -   | 29,78                            |
| 13.        | 11,4                        | 1,293                       | 0,1864                      | 0,05485                     | 0,02234                     | 0,000602                     | -   | 46                               |
| 14.        | 21,712                      | 2,448                       | 0,3507                      | 0,1023                      | 0,0412                      | 0,000656                     | 0,006788                                  | 33,8                             |
| 15.        | 25,7                        | 2,8575                      | 0,40208                     | 0,11446                     | 0,0447                      | 0,0000096                    | -   | 0,067                            |

| Nr. event | r=0<br>(x10 <sup>-7</sup> ) | r=2<br>(x10 <sup>-7</sup> ) | r=3<br>(x10 <sup>-7</sup> ) | r=4<br>(x10 <sup>-7</sup> ) | r=5<br>(x10 <sup>-7</sup> ) | r=2p<br>(x10 <sup>-7</sup> ) | r= $\frac{2p}{d}$<br>(x10 <sup>-7</sup> ) | r=2p-N1<br>(x10 <sup>-14</sup> ) |
|-----------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|-----------------------------|------------------------------|---|----------------------------------|
| 16.       | 4,6                         | 0,51848                     | 0,0741                      | 0,02157                     | 0,00867                     | 0,00063                      | 0,51848                                   | 8,754                            |
| 17.       | 7,63                        | 0,849                       | 0,1196                      | 0,03414                     | 0,01338                     | 0,000007                     | -   | 0,98                             |
| 18.       | 35,54                       | 4,0558                      | 0,589                       | 0,175                       | 0,072                       | 0,00606                      | -   | 193,73                           |
| 19.       | 15,797                      | 1,7989                      | 0,2606                      | 0,0772                      | 0,03168                     | 0,00146                      | -   | 56,56                            |
| 20.       | 2,689                       | 0,31                        | 0,0456                      | 0,01376                     | 0,00577                     | 0,001087                     | 0,01376                                   | -                                |
| 21.       | 7,5192                      | 0,8449                      | 0,1205                      | 0,0349                      | 0,01397                     | 0,000199                     | 0,03493                                   | 4,68                             |
| 22.       | 52,193                      | 5,803                       | 0,8167                      | 0,23261                     | 0,09097                     | 0,0000063                    | 0,00261                                   | 0,068                            |
| 23.       | 40,38                       | 4,4885                      | 0,6316                      | 0,17983                     | 0,07033                     | 0,0000037                    | 0,01026                                   | 0,036                            |
| 24.       | 18,29                       | 2                           | 0,283                       | 0,081                       | 0,0318                      | 0,0000289                    | 0,08098                                   | 1,67                             |

Tabela 56 - Factorul de amplificare dinamic  $K_{dpe}$  în cazul ajustajului cu joc

| Nr. curent | r=0<br>(-) | r=1<br>(-) | r=2<br>(-)               | r=3<br>(-)               | r=4<br>(-)               | r=5<br>(-)               | r=2p<br>(+)             | $r=\frac{2p}{d}$<br>(-) |
|------------|------------|------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1.         | 0,05734    | 0,121      | 0,44 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,34 · 10 <sup>-7</sup>  | 0,126 · 10 <sup>-6</sup> | 0,32 · 10 <sup>-6</sup>  | 0,11 · 10 <sup>-3</sup> | 0,68 · 10 <sup>-6</sup> |
| 2.         | 0,05156    | 0,10695    | 0,44 · 10 <sup>-9</sup>  | 0,31 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,95 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,33 · 10 <sup>-7</sup>  | 0,98 · 10 <sup>-4</sup> | 0,12 · 10 <sup>-7</sup> |
| 3.         | 0,1227     | 0,2776     | 0,63 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,5 · 10 <sup>-7</sup>   | 0,18 · 10 <sup>-6</sup>  | 0,44 · 10 <sup>-6</sup>  | 0,23 · 10 <sup>-3</sup> | 0,24 · 10 <sup>-4</sup> |
| 4.         | 0,02818    | 0,0777     | 0,35 · 10 <sup>-9</sup>  | 0,27 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,98 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,24 · 10 <sup>-7</sup>  | 0,36 · 10 <sup>-4</sup> | -                       |
| 5.         | 0,023      | 0,053      | 0,98 · 10 <sup>-7</sup>  | 0,69 · 10 <sup>-6</sup>  | 0,24 · 10 <sup>-5</sup>  | 0,63 · 10 <sup>-5</sup>  | 0,29 · 10 <sup>-3</sup> | 0,32 · 10 <sup>-7</sup> |
| 6.         | 0,055      | 0,115      | 0,47 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,35 · 10 <sup>-7</sup>  | 0,13 · 10 <sup>-6</sup>  | 0,34 · 10 <sup>-6</sup>  | 0,55 · 10 <sup>-3</sup> | 0,58 · 10 <sup>-5</sup> |
| 7.         | 0,0677     | 0,144      | 0,93 · 10 <sup>-9</sup>  | 0,72 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,29 · 10 <sup>-7</sup>  | 0,7 · 10 <sup>-7</sup>   | 0,27 · 10 <sup>-3</sup> | 0,29 · 10 <sup>-7</sup> |
| 8.         | 0,0145     | 0,0296     | 0,34 · 10 <sup>-10</sup> | 0,3 · 10 <sup>-9</sup>   | 0,12 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,3 · 10 <sup>-8</sup>   | 0,25 · 10 <sup>-5</sup> | 0,18 · 10 <sup>-8</sup> |
| 9.         | 0,023      | 0,0476     | 0,69 · 10 <sup>-10</sup> | 0,49 · 10 <sup>-9</sup>  | 0,17 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,43 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,5 · 10 <sup>-4</sup>  | 0,15 · 10 <sup>-6</sup> |
| 10.        | 0,0199     | 0,0407     | 0,4 · 10 <sup>-10</sup>  | 0,31 · 10 <sup>-9</sup>  | 0,12 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,31 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,48 · 10 <sup>-4</sup> | 0,23 · 10 <sup>-7</sup> |
| 11.        | 0,01159    | 0,0232     | 0,47 · 10 <sup>-10</sup> | 0,33 · 10 <sup>-9</sup>  | 0,13 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,36 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,28 · 10 <sup>-4</sup> | 0,13 · 10 <sup>-8</sup> |
| 12.        | 0,0299     | 0,061      | 0,16 · 10 <sup>-7</sup>  | 0,13 · 10 <sup>-6</sup>  | 0,43 · 10 <sup>-6</sup>  | 0,105 · 10 <sup>-5</sup> | 0,11 · 10 <sup>-4</sup> | -                       |
| 13.        | 0,0807     | 0,173      | 0,2 · 10 <sup>-7</sup>   | 0,14 · 10 <sup>-6</sup>  | 0,5 · 10 <sup>-6</sup>   | 0,12 · 10 <sup>-5</sup>  | 0,42 · 10 <sup>-4</sup> | -                       |
| 14.        | 0,03648    | 0,075      | 0,43 · 10 <sup>-8</sup>  | 0,34 · 10 <sup>-7</sup>  | 0,12 · 10 <sup>-6</sup>  | 0,31 · 10 <sup>-6</sup>  | 0,17 · 10 <sup>-4</sup> | 0,18 · 10 <sup>-9</sup> |
| 15.        | 0,00285    | 0,0055     | 0,15 · 10 <sup>-11</sup> | 0,12 · 10 <sup>-10</sup> | 0,44 · 10 <sup>-10</sup> | 0,11 · 10 <sup>-9</sup>  | 0,45 · 10 <sup>-5</sup> | -                       |

INSTITUTUL  
TEHNOLOGIC  
BUCUREȘTI

| Nr. current | r=0 (-) | r=1 (-) | r=2 (-)               | r=3 (-)               | r=4 (-)              | r=5 (-)              | r=2p (+)             | $r=\frac{2p}{d}$ (-) |
|-------------|---------|---------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|
| 16.         | 0,0647  | 0,137   | $0,29 \cdot 10^{-7}$  | $0,22 \cdot 10^{-6}$  | $0,77 \cdot 10^{-6}$ | $0,2 \cdot 10^{-5}$  | $0,26 \cdot 10^{-4}$ | $0,29 \cdot 10^{-7}$ |
| 17.         | 0,146   | 0,335   | $0,25 \cdot 10^{-8}$  | $0,22 \cdot 10^{-7}$  | $0,87 \cdot 10^{-7}$ | $0,22 \cdot 10^{-6}$ | $0,34 \cdot 10^{-3}$ | -                    |
| 18.         | 0,0652  | 0,138   | $0,27 \cdot 10^{-7}$  | $0,21 \cdot 10^{-6}$  | $0,76 \cdot 10^{-6}$ | $0,19 \cdot 10^{-5}$ | $0,21 \cdot 10^{-4}$ | -                    |
| 19.         | 0,0406  | 0,0839  | $0,1 \cdot 10^{-7}$   | $0,82 \cdot 10^{-7}$  | $0,29 \cdot 10^{-6}$ | $0,7 \cdot 10^{-6}$  | $0,14 \cdot 10^{-4}$ | -                    |
| 20.         | 0,0978  | 0,212   | $0,1 \cdot 10^{-6}$   | $0,81 \cdot 10^{-6}$  | $0,28 \cdot 10^{-5}$ | $0,66 \cdot 10^{-5}$ | $0,34 \cdot 10^{-4}$ | $0,28 \cdot 10^{-5}$ |
| 21.         | 0,027   | 0,0547  | $0,39 \cdot 10^{-8}$  | $0,32 \cdot 10^{-7}$  | $0,12 \cdot 10^{-6}$ | $0,3 \cdot 10^{-6}$  | $0,2 \cdot 10^{-4}$  | $0,3 \cdot 10^{-6}$  |
| 22.         | 0,0234  | 0,0493  | $0,48 \cdot 10^{-10}$ | $0,43 \cdot 10^{-9}$  | $0,16 \cdot 10^{-8}$ | $0,42 \cdot 10^{-8}$ | $0,48 \cdot 10^{-4}$ | $0,14 \cdot 10^{-6}$ |
| 23.         | 0,0218  | 0,0446  | $0,4 \cdot 10^{-10}$  | $0,36 \cdot 10^{-9}$  | $0,12 \cdot 10^{-8}$ | $0,33 \cdot 10^{-8}$ | $0,52 \cdot 10^{-4}$ | $0,23 \cdot 10^{-7}$ |
| 24.         | 0,0492  | 0,1025  | $0,13 \cdot 10^{-8}$  | $0,103 \cdot 10^{-7}$ |                      | $0,93 \cdot 10^{-7}$ | $0,93 \cdot 10^{-4}$ |                      |

Tabela 57 - Factorul de amplificare dinamic  $K_{dst}$  în cazul ajustajului rigid

| Nr. curent | r=0<br>(-) | r=1<br>(-) | r=2<br>(-)              | r=3<br>(-)             | r=4<br>(-)             | r=5<br>(-) | r=2p<br>(+) | $r=\frac{2p}{d}$<br>(-) |
|------------|------------|------------|-------------------------|------------------------|------------------------|------------|-------------|-------------------------|
| 1.         | 0,0242     | 0,0494     | 0,31.10 <sup>-3</sup>   | 0,252.10 <sup>-2</sup> | 0,9.10 <sup>-2</sup>   | 0,0239     | 1,09        | 0,53.10 <sup>-1</sup>   |
| 2.         | 0,0211     | 0,0428     | 0,386.10 <sup>-3</sup>  | 0,33.10 <sup>-2</sup>  | 0,12.10 <sup>-1</sup>  | 0,032      | 1,006       | 0,12.10 <sup>-1</sup>   |
| 3.         | 0,0203     | 0,0792     | 0,924.10 <sup>-3</sup>  | 0,737.10 <sup>-2</sup> | 0,275.10 <sup>-1</sup> | 0,074      | 1,016       | 1,3                     |
| 4.         | 0,013      | 0,0261     | 0,175.10 <sup>-3</sup>  | 0,148.10 <sup>-2</sup> | 0,56.10 <sup>-2</sup>  | 0,0144     | 1,029       | -                       |
| 5.         | 0,105      | 0,232      | 0,570.10 <sup>-3</sup>  | 0,457.10 <sup>-2</sup> | 0,166.10 <sup>-1</sup> | 0,0436     | 1,66        | 0,570.10 <sup>-3</sup>  |
| 6.         | 0,0353     | 0,0429     | 0,288.10 <sup>-3</sup>  | 0,239.10 <sup>-2</sup> | 0,86.10 <sup>-2</sup>  | 0,0227     | 1,22        | 0,5926                  |
| 7.         | 0,0315     | 0,0629     | 0,125.10 <sup>-2</sup>  | 0,102.10 <sup>-1</sup> | 0,38.10 <sup>-1</sup>  | 0,107      | 1,002       | 0,384.10 <sup>-1</sup>  |
| 8.         | 0,0079     | 0,0156     | 0,493.10 <sup>-3</sup>  | 0,38.10 <sup>-2</sup>  | 0,138.10 <sup>-1</sup> | 0,037      | 1,03        | 0,139.10 <sup>-1</sup>  |
| 9.         | 0,0122     | 0,0242     | 0,19.10 <sup>-3</sup>   | 0,149.10 <sup>-2</sup> | 0,53.10 <sup>-2</sup>  | 0,014      | 1,004       | -                       |
| 10.        | 0,0094     | 0,01874    | 0,13.10 <sup>-3</sup>   | 0,997.10 <sup>-3</sup> | 0,38.10 <sup>-2</sup>  | 0,00997    | 1,004       | 0,128.10 <sup>-1</sup>  |
| 11.        | 0,00623    | 0,01236    | 0,533.10 <sup>-4</sup>  | 0,4.10 <sup>-3</sup>   | 0,146.10 <sup>-2</sup> | 0,0038     | 1,018       | 0,146.10 <sup>-2</sup>  |
| 12.        | 0,0216     | 0,04386    | 0,12.10 <sup>-3</sup>   | 0,94.10 <sup>-3</sup>  | 0,346.10 <sup>-2</sup> | 0,009      | 0,175       | -                       |
| 13.        | 0,0553     | 0,115      | 0,528.10 <sup>-3</sup>  | 0,41.10 <sup>-2</sup>  | 0,153.10 <sup>-1</sup> | 0,0403     | 1,77        | -                       |
| 14.        | 0,0303     | 0,062      | 0,227.10 <sup>-3</sup>  | 0,17.10 <sup>-2</sup>  | 0,63.10 <sup>-2</sup>  | 0,016      | 2,5         | 0,123                   |
| 15.        | 0,0036     | 0,00285    | 0,1487.10 <sup>-3</sup> | 0,333.10 <sup>-2</sup> | 0,456.10 <sup>-2</sup> | 0,012      | 1,001       | -                       |



| Mr. current | r=0<br>(-) | r=1<br>(-) | r=2<br>(-)            | r=3<br>(-)            | r=4<br>(-)           | r=5<br>(-) | r=2p<br>(+) | $r=\frac{2p}{d}$<br>(-) |
|-------------|------------|------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|------------|-------------|-------------------------|
| 16.         | 0,0293     | 0,0596     | $0,34 \cdot 10^{-3}$  | $0,275 \cdot 10^{-2}$ | $0,99 \cdot 10^{-2}$ | 0,0309     | 0,72        | $0,342 \cdot 10^{-3}$   |
| 17.         | 0,0593     | 0,1236     | $0,17 \cdot 10^{-2}$  | $0,14 \cdot 10^{-1}$  | $0,7 \cdot 10^{-1}$  | 0,15       | 1,003       | -                       |
| 18.         | 0,0458     | 0,0942     | $0,672 \cdot 10^{-4}$ | $0,48 \cdot 10^{-3}$  | $0,18 \cdot 10^{-2}$ | 0,0045     | 0,079       | -                       |
| 19.         | 0,0304     | 0,062      | $0,173 \cdot 10^{-3}$ | $0,13 \cdot 10^{-2}$  | $0,48 \cdot 10^{-2}$ | 0,0125     | 0,7         | -                       |
| 20.         | 0,0752     | 0,14       | $0,166 \cdot 10^{-2}$ | $0,55 \cdot 10^{-2}$  | $0,2 \cdot 10^{-1}$  | 0,054      | 0,52        | $0,204 \cdot 10^{-1}$   |
| 21.         | 0,0177     | 0,0358     | $0,303 \cdot 10^{-3}$ | $0,25 \cdot 10^{-2}$  | $0,9 \cdot 10^{-2}$  | 0,0238     | 1,68        | $0,9 \cdot 10^{-2}$     |
| 22.         | 0,0116     | 0,0233     | $0,191 \cdot 10^{-3}$ | $0,139 \cdot 10^{-2}$ | $0,51 \cdot 10^{-2}$ | 0,0135     | 1,004       | 0,89                    |
| 23.         | 0,00967    | 0,01946    | $0,193 \cdot 10^{-3}$ | $0,153 \cdot 10^{-2}$ | $0,57 \cdot 10^{-2}$ | 0,0148     | 1,003       | 0,114                   |
| 24.         | 0,0263     | 0,054      | $0,364 \cdot 10^{-3}$ | $0,302 \cdot 10^{-2}$ |                      | 0,0294     | 1,022       |                         |

Tabela 58 - Amplitudinea vibrațiilor ferului activ al statorului  $\gamma_{rfe}$  pentru cazul ajustajului cu joc, în [cm.]

| Nr. curent | r = 0   | r = 2                  | r = 3                  | r = 4                  | r = 5                  | r = 2p                 | r = $\frac{2p}{d}$     |
|------------|---------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 1.         | 0,279   | 0,238.10 <sup>-8</sup> | 0,262.10 <sup>-8</sup> | 0,278.10 <sup>-8</sup> | 0,28.10 <sup>-8</sup>  | 0,27.10 <sup>-8</sup>  | 0,28.10 <sup>-8</sup>  |
| 2.         | 2,59    | 0,246.10 <sup>-8</sup> | 0,246.10 <sup>-8</sup> | 0,214.10 <sup>-8</sup> | 0,287.10 <sup>-8</sup> | 0,215.10 <sup>-8</sup> | 0,28.10 <sup>-8</sup>  |
| 3.         | 0,656   | 0,374.10 <sup>-8</sup> | 0,422.10 <sup>-8</sup> | 0,42.10 <sup>-8</sup>  | 0,419.10 <sup>-8</sup> | 0,358.10 <sup>-8</sup> | 0,4.10 <sup>-8</sup>   |
| 4.         | 0,779   | 0,108.10 <sup>-8</sup> | 0,116.10 <sup>-8</sup> | 0,12.10 <sup>-8</sup>  | 0,114.10 <sup>-8</sup> | 0,98.10 <sup>-9</sup>  | -                      |
| 5.         | 0,104   | 0,555.10 <sup>-8</sup> | 0,594.10 <sup>-8</sup> | 0,597.10 <sup>-8</sup> | 0,628.10 <sup>-8</sup> | 0,57.10 <sup>-8</sup>  | 0,55.10 <sup>-8</sup>  |
| 6.         | 0,193   | 0,185.10 <sup>-8</sup> | 0,196.10 <sup>-8</sup> | 0,212.10 <sup>-8</sup> | 0,217.10 <sup>-8</sup> | 0,197.10 <sup>-8</sup> | 0,21.10 <sup>-8</sup>  |
| 7.         | 17,938  | 0,273.10 <sup>-7</sup> | 0,299.10 <sup>-7</sup> | 0,339.10 <sup>-7</sup> | 0,325.10 <sup>-7</sup> | 0,29.10 <sup>-7</sup>  | 0,34.10 <sup>-7</sup>  |
| 8.         | 13,98   | 0,349.10 <sup>-9</sup> | 0,432.10 <sup>-9</sup> | 0,489.10 <sup>-9</sup> | 0,476.10 <sup>-9</sup> | 0,43.10 <sup>-9</sup>  | 0,49.10 <sup>-9</sup>  |
| 9.         | 4,24    | 0,14.10 <sup>-8</sup>  | 0,14.10 <sup>-8</sup>  | 0,14.10 <sup>-8</sup>  | 0,139.10 <sup>-8</sup> | 0,11.10 <sup>-8</sup>  | 0,135.10 <sup>-8</sup> |
| 10.        | 4,66    | 0,104.10 <sup>-8</sup> | 0,114.10 <sup>-8</sup> | 0,12.10 <sup>-8</sup>  | 0,125.10 <sup>-8</sup> | 0,106.10 <sup>-8</sup> | 0,134.10 <sup>-8</sup> |
| 11.        | 1,375   | 0,618.10 <sup>-9</sup> | 0,616.10 <sup>-9</sup> | 0,7.10 <sup>-9</sup>   | 0,744.10 <sup>-9</sup> | 0,65.10 <sup>-9</sup>  | 0,7.10 <sup>-9</sup>   |
| 12.        | 0,01079 | 0,66.10 <sup>-9</sup>  | 0,76.10 <sup>-9</sup>  | 0,77.10 <sup>-9</sup>  | 0,79.10 <sup>-9</sup>  | 0,77.10 <sup>-9</sup>  | -                      |
| 13.        | 0,0864  | 0,243.10 <sup>-8</sup> | 0,253.10 <sup>-8</sup> | 0,26.10 <sup>-8</sup>  | 0,26.10 <sup>-8</sup>  | 0,24.10 <sup>-8</sup>  | -                      |
| 14.        | 0,0766  | 0,103.10 <sup>-8</sup> | 0,117.10 <sup>-8</sup> | 0,12.10 <sup>-8</sup>  | 0,123.10 <sup>-8</sup> | 0,11.10 <sup>-8</sup>  | 0,12.10 <sup>-8</sup>  |

| Nr. element | r = 0  | r = 2                  | r = 3                  | r = 4                  | r = 5                  | r = 2p                 | r = $\frac{2p}{a}$     |
|-------------|--------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|------------------------|
| 15.         | 1,759  | 0,102.10 <sup>-9</sup> | 0,114.10 <sup>-9</sup> | 0,12.10 <sup>-9</sup>  | 0,123.10 <sup>-9</sup> | 0,1.10 <sup>-9</sup>   | -                      |
| 16.         | 0,0038 | 0,194.10 <sup>-8</sup> | 0,209.10 <sup>-8</sup> | 0,212.10 <sup>-8</sup> | 0,21.10 <sup>-8</sup>  | 0,208.10 <sup>-8</sup> | 0,19.10 <sup>-8</sup>  |
| 17.         | 3,524  | 0,66.10 <sup>-8</sup>  | 0,83.10 <sup>-8</sup>  | 0,94.10 <sup>-10</sup> | 0,947.10 <sup>-8</sup> | 0,76.10 <sup>-8</sup>  | -                      |
| 18.         | 0,028  | 0,132.10 <sup>-8</sup> | 0,15.10 <sup>-8</sup>  | 0,16.10 <sup>-6</sup>  | 0,162.10 <sup>-8</sup> | 0,154.10 <sup>-8</sup> | -                      |
| 19.         | 0,0293 | 0,88.10 <sup>-9</sup>  | 0,972.10 <sup>-9</sup> | 0,1.10 <sup>-8</sup>   | 0,1.10 <sup>-8</sup>   | 0,96.10 <sup>-8</sup>  | -                      |
| 20.         | 0,016  | 0,202.10 <sup>-8</sup> | 0,225.10 <sup>-8</sup> | 0,23.10 <sup>-8</sup>  | 0,23.10 <sup>-8</sup>  | 0,227.10 <sup>-8</sup> | 0,23.10 <sup>-8</sup>  |
| 21.         | 0,0477 | 0,779.10 <sup>-9</sup> | 0,919.10 <sup>-9</sup> | 0,975.10 <sup>-9</sup> | 0,99.10 <sup>-9</sup>  | 0,94.10 <sup>-9</sup>  | 0,98.10 <sup>-9</sup>  |
| 22.         | 4,589  | 0,11.10 <sup>-8</sup>  | 0,139.10 <sup>-8</sup> | 0,147.10 <sup>-8</sup> | 0,15.10 <sup>-8</sup>  | 0,12.10 <sup>-8</sup>  | 0,15.10 <sup>-8</sup>  |
| 23.         | 5,588  | 0,114.10 <sup>-8</sup> | 0,144.10 <sup>-8</sup> | 0,14.10 <sup>-8</sup>  | 0,15.10 <sup>-8</sup>  | 0,12.10 <sup>-8</sup>  | 0,146.10 <sup>-8</sup> |
| 24.         | 0,91   | 0,267.10 <sup>-8</sup> | 0,298.10 <sup>-8</sup> |                        | 0,3.10 <sup>-8</sup>   | 0,275.10 <sup>-8</sup> |                        |

Tabela 59 - Amplitudinea vibrațiilor statorului  $|Y_{rst}| \times 10^{-7}$  pentru cazul ajustajului rigid, în [cm]

| Nr. curent | $r = 0$ | $r = 2$  | $r = 3$  | $r = 4$ | $r = 5$ | $r = 2p$  | $r = \frac{2p}{d}$ |
|------------|---------|----------|----------|---------|---------|-----------|--------------------|
| 1.         | 0,248   | 0,00036  | 0,000407 | 0,00042 | 0,00044 | 0,00093   | 0,00046            |
| 2.         | 0,41    | 0,00083  | 0,001    | 0,00103 | 0,0011  | 0,000086  | 0,00163            |
| 3.         | 0,197   | 0,00053  | 0,00059  | 0,00064 | 0,00068 | 0,000015  | 0,00021            |
| 4.         | 0,27    | 0,000406 | 0,00048  | 0,00052 | 0,00053 | 0,0000212 | 0,00037            |
| 5.         | 0,59    | 0,000365 | 0,00041  | 0,00043 | 0,00046 | 0,0004    | 0,00095            |
| 6.         | 0,48    | 0,000442 | 0,00052  | 0,00054 | 0,00056 | 0,00037   | 0,000707           |
| 7.         | 1,3     | 0,0057   | 0,0066   | 0,00707 | 0,0077  | 0,000017  | 0,00065            |
| 8.         | 0,326   | 0,000577 | 0,00063  | 0,00065 | 0,00068 | 0,00002   | 0,0025             |
| 9.         | 0,574   | 0,001    | 0,0011   | 0,00112 | 0,00116 | 0,0000058 | 0,000175           |
| 10.        | 0,505   | 0,00077  | 0,00084  | 0,00091 | 0,00093 | 0,000005  | -                  |
| 11.        | 0,614   | 0,00058  | 0,000062 | 0,00064 | 0,00066 | 0,00002   | 0,00064            |
| 12.        | 0,228   | 0,000146 | 0,00017  | 0,00018 | 0,0002  | 0,00034   | -                  |
| 13.        | 0,63    | 0,000683 | 0,00077  | 0,00084 | 0,0009  | 0,00106   | -                  |
| 14.        | 0,657   | 0,0209   | 0,0006   | 0,00064 | 0,00067 | 0,00165   | 0,00083            |

| Nr<br>current | r = 0 | r = 2    | r = 3    | r = 4   | r = 5    | r = 2p    | $r = \frac{2p}{d}$ |
|---------------|-------|----------|----------|---------|----------|-----------|--------------------|
| 15.           | 0,929 | 0,00043  | 0,00134  | 0,00052 | 0,00054  | 0,000001  | -                  |
| 16.           | 0,135 | 0,000177 | 0,000204 | 0,0002  | 0,00027  | 0,00045   | 0,00018            |
| 17.           | 0,453 | 0,00145  | 0,0017   | 0,00152 | 0,00201  | 0,000007  | -                  |
| 18.           | 1,63  | 0,00027  | 0,00462  | 0,00006 | 0,00033  | 0,00048   | -                  |
| 19.           | 0,48  | 0,000311 | 0,000337 | 0,00037 | 0,00004  | 0,00102   | -                  |
| 20.           | 0,202 | 0,00052  | 0,00025  | 0,00028 | 0,00031  | 0,00057   | 0,00028            |
| 21.           | 0,133 | 0,000256 | 0,0003   | 0,00031 | 0,00033  | 0,00033   | 0,00031            |
| 22.           | 0,604 | 0,00111  | 0,00113  | 0,0012  | 0,00123  | 0,000006  | 0,0023             |
| 23.           | 0,39  | 0,00087  | 0,00097  | 0,00103 | 0,00104  | 0,0000037 | 0,00117            |
| 24.           | 0,481 | 0,00072  | 0,000856 |         | 0,000934 | 0,0000295 |                    |

Tabela 60 - Factorul de amplificare dinamic  $K_d$  Feo pentru cazul ajustajului cu joc și  $f_r = 100$  Hz

| Nr. element | r=0   | r=2                  | r=3                   | r=4                   | r=5                  | r=2p    | $r=\frac{2p}{d}$      | r=2p-N1 |
|-------------|-------|----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|---------|-----------------------|---------|
| 1.          | 1,17  | $0,56 \cdot 10^{-6}$ | $0,44 \cdot 10^{-5}$  | $0,16 \cdot 10^{-4}$  | $0,42 \cdot 10^{-4}$ | 0,017   | $0,9 \cdot 10^{-4}$   | 0,044   |
| 2.          | 1,68  | $0,22 \cdot 10^{-7}$ | $0,16 \cdot 10^{-6}$  | $0,49 \cdot 10^{-6}$  | $0,17 \cdot 10^{-5}$ | 0,0064  | $0,64 \cdot 10^{-6}$  | 0,0065  |
| 3.          | 1,194 | $0,36 \cdot 10^{-6}$ | $0,29 \cdot 10^{-5}$  | $0,1 \cdot 10^{-4}$   | $0,26 \cdot 10^{-4}$ | 0,017   | $0,15 \cdot 10^{-2}$  | 0,0167  |
| 4.          | 1,82  | $0,29 \cdot 10^{-7}$ | $0,22 \cdot 10^{-6}$  | $0,81 \cdot 10^{-6}$  | $0,19 \cdot 10^{-5}$ | 0,0036  | -                     | 0,0036  |
| 5.          | 1,06  | $0,84 \cdot 10^{-5}$ | $0,64 \cdot 10^{-4}$  | $0,225 \cdot 10^{-3}$ | $0,6 \cdot 10^{-5}$  | 0,028   | $0,84 \cdot 10^{-5}$  | 0,028   |
| 6.          | 1,21  | $0,53 \cdot 10^{-6}$ | $0,4 \cdot 10^{-5}$   | $0,15 \cdot 10^{-4}$  | $0,4 \cdot 10^{-4}$  | 0,0073  | $0,62 \cdot 10^{-3}$  | 0,017   |
| 7.          | 1,308 | $0,62 \cdot 10^{-7}$ | $0,49 \cdot 10^{-6}$  | $0,19 \cdot 10^{-5}$  | $0,48 \cdot 10^{-5}$ | 0,023   | $0,196 \cdot 10^{-5}$ | 0,034   |
| 8.          | 2,95  | $0,36 \cdot 10^{-8}$ | $0,32 \cdot 10^{-7}$  | $0,13 \cdot 10^{-6}$  | $0,33 \cdot 10^{-6}$ | 0,00032 | $0,13 \cdot 10^{-6}$  | 0,18    |
| 9.          | 7,009 | $0,36 \cdot 10^{-8}$ | $0,256 \cdot 10^{-7}$ | $0,9 \cdot 10^{-7}$   | $0,23 \cdot 10^{-6}$ | 0,0034  | $0,78 \cdot 10^{-5}$  | 0,0041  |
| 10.         | 5,76  | $0,25 \cdot 10^{-8}$ | $0,196 \cdot 10^{-7}$ | $0,73 \cdot 10^{-7}$  | $0,19 \cdot 10^{-6}$ | 0,0038  | $0,14 \cdot 10^{-5}$  | 0,005   |
| 11.         | 3,71  | $0,56 \cdot 10^{-8}$ | $0,4 \cdot 10^{-7}$   | $0,16 \cdot 10^{-6}$  | $0,43 \cdot 10^{-6}$ | 0,004   | $0,16 \cdot 10^{-6}$  | 0,0083  |
| 12.         | 1,12  | $0,53 \cdot 10^{-5}$ | $0,42 \cdot 10^{-4}$  | $0,14 \cdot 10^{-3}$  | $0,36 \cdot 10^{-3}$ | 0,0042  | -                     | 0,028   |
| 13.         | 1,198 | $0,17 \cdot 10^{-5}$ | $0,12 \cdot 10^{-4}$  | $0,43 \cdot 10^{-4}$  | $0,1 \cdot 10^{-3}$  | 0,0042  | -                     | 0,0055  |
| 14.         | 1,347 | $0,49 \cdot 10^{-6}$ | $0,39 \cdot 10^{-5}$  | $0,13 \cdot 10^{-4}$  | $0,36 \cdot 10^{-4}$ | 0,0023  | $0,22 \cdot 10^{-3}$  | 0,0044  |

| Nr. current | r=0   | r=2                   | r=3                   | r=4                  | r=5                  | r=2p    | $r=\frac{2p}{d}$      | r=2p-N1 |
|-------------|-------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|---------|-----------------------|---------|
| 15.         | 0,299 | $0,12 \cdot 10^{-9}$  | $0,96 \cdot 10^{-9}$  | $0,36 \cdot 10^{-8}$ | $0,94 \cdot 10^{-8}$ | 0,00045 | -                     | 0,00065 |
| 16.         | 1,086 | $0,62 \cdot 10^{-5}$  | $0,47 \cdot 10^{-4}$  | $0,17 \cdot 10^{-3}$ | $0,43 \cdot 10^{-3}$ | 0,0062  | $0,62 \cdot 10^{-5}$  | 0,047   |
| 17.         | 1,28  | $0,9 \cdot 10^{-7}$   | $0,81 \cdot 10^{-6}$  | $0,32 \cdot 10^{-5}$ | $0,84 \cdot 10^{-5}$ | 0,017   | -                     | 0,012   |
| 18.         | 1,128 | $0,4 \cdot 10^{-5}$   | $0,32 \cdot 10^{-4}$  | $0,11 \cdot 10^{-3}$ | $0,29 \cdot 10^{-3}$ | 0,0035  | -                     | 0,011   |
| 19.         | 1,21  | $0,16 \cdot 10^{-5}$  | $0,122 \cdot 10^{-4}$ | $0,43 \cdot 10^{-4}$ | $0,1 \cdot 10^{-3}$  | 0,0024  | -                     | 0,0063  |
| 20.         | 1,065 | $0,2 \cdot 10^{-4}$   | $0,156 \cdot 10^{-3}$ | $0,55 \cdot 10^{-3}$ | $0,13 \cdot 10^{-2}$ | 0,0073  | $0,54 \cdot 10^{-3}$  | 0,033   |
| 21.         | 1,23  | $0,81 \cdot 10^{-6}$  | $0,67 \cdot 10^{-5}$  | $0,25 \cdot 10^{-4}$ | $0,64 \cdot 10^{-4}$ | 0,0047  | $0,25 \cdot 10^{-4}$  | 0,02    |
| 22.         | 6,316 | $0,25 \cdot 10^{-8}$  | $0,225 \cdot 10^{-7}$ | $0,84 \cdot 10^{-7}$ | $0,22 \cdot 10^{-6}$ | 0,0033  | $0,78 \cdot 10^{-5}$  | 0,0035  |
| 23.         | 4,1   | $0,25 \cdot 10^{-8}$  | $0,225 \cdot 10^{-7}$ | $0,78 \cdot 10^{-7}$ | $0,21 \cdot 10^{-6}$ | 0,0041  | $0,144 \cdot 10^{-5}$ | 0,0056  |
| 24.         | 1,32  | $0,116 \cdot 10^{-6}$ | $0,92 \cdot 10^{-6}$  |                      | $0,84 \cdot 10^{-5}$ | 0,0101  |                       | 0,018   |

Tabela 61 - Factorul de amplificare dinamic  $K_{dsto}$  pentru cazul ajustajului rigid și  $f_r = 100$  Hz

| Nr. curent | r=0   | r=2     | r=3    | r=4   | r=5   | r=2p | $r=\frac{2p}{d}$ | r=2p-N1 |
|------------|-------|---------|--------|-------|-------|------|------------------|---------|
| 1.         | 1,5   | 0,042   | 0,481  | 7,01  | 1,485 | 1    | 1,18             | 1       |
| 2.         | 25,75 | 0,0199  | 0,202  | 1,553 | 2,63  | 1    | 1,55             | 1       |
| 3.         | 1,93  | 0,0559  | 0,732  | 2,78  | 1,325 | 1    | 1,0036           | 1       |
| 4.         | 25,75 | 0,0146  | 0,14   | 0,86  | 6,32  | 1    | -                | 1       |
| 5.         | 1,13  | 0,056   | 0,732  | 2,86  | 1,33  | 1    | 0,0559           | 1       |
| 6.         | 1,36  | 0,0335  | 0,37   | 49,25 | 1,64  | 1    | 1,023            | 1       |
| 7.         | 1,96  | 0,092   | 2,214  | 1,65  | 1,177 | 1    | 1,65             | 1       |
| 8.         | 4,8   | 0,0559  | 0,694  | 3,05  | 1,342 | 1    | 3,05             | 1       |
| 9.         | 1,66  | 0,0101  | 0,085  | 0,39  | 2,84  | 1    | 1,04             | 1       |
| 10.        | 1,367 | 0,0082  | 0,067  | 0,316 | 1,66  | 1    | 4,26             | 1       |
| 11.        | 2,84  | 0,00644 | 0,0509 | 0,214 | 0,86  | 1    | 0,214            | 1       |
| 12.        | 1,17  | 0,0417  | 0,457  | 7,01  | 1,485 | 1    | -                | 1       |
| 13.        | 1,308 | 0,0461  | 0,534  | 4,34  | 1,42  | 1    | -                | 1       |
| 14.        | 1,446 | 0,0263  | 0,24   | 2,604 | 0,214 | 1    | 1,08             | 1       |



| Nr<br>current | r=0   | r=2    | r=3    | r=4    | r=5   | r=2p  | $r=\frac{2p}{d}$ | r=2p-N1 |
|---------------|-------|--------|--------|--------|-------|-------|------------------|---------|
| 15.           | 0,412 | 0,0122 | 0,37   | 0,593  | 49,25 | 1     | -                | 1       |
| 16.           | 1,204 | 0,0786 | 1,456  | 1,86   | 1,177 | 1,01  | 0,0786           | 1       |
| 17.           | 1,984 | 0,066  | 1,076  | 1,68   | 1,255 | 1     | -                | 1       |
| 18.           | 1,189 | 0,0101 | 0,0786 | 0,37   | 2,397 | 1,088 | -                | 1       |
| 19.           | 1,308 | 0,0263 | 0,24   | 2,604  | 2,106 | 1,015 | -                | 1       |
| 20.           | 1,085 | 0,457  | 17,42  | 1,34   | 1,108 | 1,014 | 1,34             | 1       |
| 21.           | 1,395 | 0,066  | 1,076  | 2,14   | 1,255 | 1     | 2,14             | 1       |
| 22.           | 1,456 | 0,0101 | 0,0786 | 0,3706 | 2,397 | 1     | 1,04             | 1       |
| 23.           | 1,456 | 0,0122 | 0,106  | 0,562  | 11,76 | 1     | 1,18             | 1       |
| 24.           | 1,8   | 0,0335 | 0,37   |        | 1,628 | 1     |                  | 1       |

Tabela 62 - Amplitudinea vibrațiilor ferului activ al statorului  $Y_{rFeo}$  pentru cazul ajustajului cu joc și  $f_r = 100 \text{ Hz}$ , în [cm.]

| Nr. curent | $r = 0$ | $r = 2$               | $r = 3$               | $r = 4$               | $r = 5$              | $r = 2p$             | $r = \frac{2p}{d}$   | $r = 2p - N_1$<br>( $\times 10^{-8}$ ) |
|------------|---------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|--|
| 1.         | 5,7     | $0,306 \cdot 10^{-6}$ | $0,34 \cdot 10^{-6}$  | $0,36 \cdot 10^{-6}$  | $0,37 \cdot 10^{-6}$ | $0,42 \cdot 10^{-6}$ | $0,37 \cdot 10^{-6}$ | 0,14                                   |
| 2.         | 84,62   | $0,126 \cdot 10^{-6}$ | $0,126 \cdot 10^{-6}$ | $0,11 \cdot 10^{-6}$  | $0,15 \cdot 10^{-6}$ | $0,14 \cdot 10^{-6}$ | $0,14 \cdot 10^{-6}$ | 0,15                                   |
| 3.         | 6,38    | $0,215 \cdot 10^{-6}$ | $0,24 \cdot 10^{-6}$  | $0,25 \cdot 10^{-6}$  | $0,25 \cdot 10^{-6}$ | $0,25 \cdot 10^{-6}$ | $0,25 \cdot 10^{-6}$ |  |
| 4.         | 50,28   | $0,89 \cdot 10^{-7}$  | $0,95 \cdot 10^{-7}$  | $0,1 \cdot 10^{-6}$   | $0,95 \cdot 10^{-6}$ | $0,99 \cdot 10^{-7}$ | --                   | 0,11                                   |
| 5.         | 0,57    | $0,508 \cdot 10^{-6}$ | $0,55 \cdot 10^{-6}$  | $0,56 \cdot 10^{-6}$  | $0,6 \cdot 10^{-6}$  | $0,64 \cdot 10^{-6}$ | $0,51 \cdot 10^{-6}$ | 0,67                                   |
| 6.         | 4,24    | $0,209 \cdot 10^{-6}$ | $0,22 \cdot 10^{-6}$  | $0,243 \cdot 10^{-6}$ | $0,25 \cdot 10^{-6}$ | $0,26 \cdot 10^{-6}$ | $0,26 \cdot 10^{-6}$ | 0,27                                   |
| 7.         | 346,6   | $0,184 \cdot 10^{-5}$ | $0,2 \cdot 10^{-5}$   | $0,23 \cdot 10^{-5}$  | $0,22 \cdot 10^{-5}$ | $0,25 \cdot 10^{-5}$ | $0,23 \cdot 10^{-5}$ | 2,48                                   |
| 8.         | 2721    | $0,37 \cdot 10^{-7}$  | $0,468 \cdot 10^{-7}$ | $0,53 \cdot 10^{-7}$  | $0,52 \cdot 10^{-7}$ | $0,55 \cdot 10^{-7}$ | $0,53 \cdot 10^{-7}$ | 4,07                                   |
| 9.         | 1291    | $0,74 \cdot 10^{-7}$  | $0,74 \cdot 10^{-7}$  | $0,74 \cdot 10^{-7}$  | $0,74 \cdot 10^{-7}$ | $0,74 \cdot 10^{-7}$ | $0,72 \cdot 10^{-7}$ | 0,077                                  |
| 10.        | 1348    | $0,65 \cdot 10^{-7}$  | $0,72 \cdot 10^{-7}$  | $0,76 \cdot 10^{-7}$  | $0,79 \cdot 10^{-7}$ | $0,84 \cdot 10^{-7}$ | $0,86 \cdot 10^{-7}$ | 0,083                                  |
| 11.        | 440     | $0,74 \cdot 10^{-7}$  | $0,74 \cdot 10^{-7}$  | $0,85 \cdot 10^{-7}$  | $0,9 \cdot 10^{-7}$  | $0,93 \cdot 10^{-7}$ | $0,85 \cdot 10^{-7}$ | 0,094                                  |
| 12.        | 0,4     | $0,22 \cdot 10^{-6}$  | $0,26 \cdot 10^{-6}$  | $0,26 \cdot 10^{-6}$  | $0,27 \cdot 10^{-6}$ | $0,28 \cdot 10^{-6}$ | --                   | 0,288                                  |
| 13.        | 1,3     | $0,203 \cdot 10^{-6}$ | $0,21 \cdot 10^{-6}$  | $0,22 \cdot 10^{-6}$  | $0,23 \cdot 10^{-6}$ | $0,24 \cdot 10^{-6}$ | --                   | 0,24                                   |
| 14.        | 2,83    | $0,116 \cdot 10^{-6}$ | $0,13 \cdot 10^{-6}$  | $0,14 \cdot 10^{-6}$  | $0,14 \cdot 10^{-6}$ | $0,15 \cdot 10^{-6}$ | $0,15 \cdot 10^{-6}$ | 0,148                                  |

| Nr. element | $\pi = 0$ | $\pi = 2$             | $\pi = 3$             | $\pi = 4$            | $\pi = 5$            | $\pi = 2p$           | $\pi = \frac{2p}{d}$ | $\pi = 2p-N1$<br>( $\times 10^{-8}$ ) |
|-------------|-----------|-----------------------|-----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|---------------------------------------|
| 15.         | 185       | $0,829 \cdot 10^{-8}$ | $0,93 \cdot 10^{-8}$  | $0,99 \cdot 10^{-8}$ | $0,1 \cdot 10^{-7}$  | $0,1 \cdot 10^{-7}$  | -                    | 0,0103                                |
| 16.         | 0,064     | $0,414 \cdot 10^{-6}$ | $0,45 \cdot 10^{-6}$  | $0,47 \cdot 10^{-6}$ | $0,48 \cdot 10^{-6}$ | $0,5 \cdot 10^{-6}$  | $0,42 \cdot 10^{-6}$ | 0,527                                 |
| 17.         | 31        | $0,242 \cdot 10^{-6}$ | $0,307 \cdot 10^{-6}$ | $0,35 \cdot 10^{-6}$ | $0,36 \cdot 10^{-6}$ | $0,38 \cdot 10^{-6}$ | -                    | 0,37                                  |
| 18.         | 0,48      | $0,196 \cdot 10^{-6}$ | $0,23 \cdot 10^{-6}$  | $0,25 \cdot 10^{-6}$ | $0,25 \cdot 10^{-6}$ | $0,26 \cdot 10^{-6}$ | -                    | 0,103                                 |
| 19.         | 0,83      | $0,13 \cdot 10^{-6}$  | $0,146 \cdot 10^{-6}$ | $0,15 \cdot 10^{-6}$ | $0,16 \cdot 10^{-6}$ | $0,16 \cdot 10^{-6}$ | -                    | 0,103                                 |
| 20.         | 0,17      | $0,38 \cdot 10^{-6}$  | $0,43 \cdot 10^{-6}$  | $0,46 \cdot 10^{-6}$ | $0,46 \cdot 10^{-6}$ | $0,48 \cdot 10^{-6}$ | $0,45 \cdot 10^{-6}$ | 0,5                                   |
| 21.         | 2,17      | $0,16 \cdot 10^{-6}$  | $0,19 \cdot 10^{-6}$  | $0,2 \cdot 10^{-6}$  | $0,21 \cdot 10^{-6}$ | $0,22 \cdot 10^{-6}$ | $0,2 \cdot 10^{-6}$  | 0,22                                  |
| 22.         | 1308      | $0,58 \cdot 10^{-7}$  | $0,73 \cdot 10^{-7}$  | $0,78 \cdot 10^{-7}$ | $0,8 \cdot 10^{-7}$  | $0,82 \cdot 10^{-7}$ | $0,8 \cdot 10^{-7}$  | 0,0094                                |
| 23.         | 1050      | $0,71 \cdot 10^{-7}$  | $0,9 \cdot 10^{-7}$   | $0,9 \cdot 10^{-7}$  | $0,94 \cdot 10^{-7}$ | $0,97 \cdot 10^{-7}$ | $0,94 \cdot 10^{-7}$ | 0,013                                 |
| 24.         | 24,4      | $0,238 \cdot 10^{-6}$ | $0,27 \cdot 10^{-6}$  |                      | $0,24 \cdot 10^{-6}$ | $0,3 \cdot 10^{-6}$  |                      | 0,305                                 |

Tabela 63 - Amplitudinea vibrațiilor statorului  $Y_{rsto}$  pentru cazul ajustajului rigid și  $f_r = 100$  Hz, în [cm.]

| Nr. element | $r = 0$<br>( $\times 10^{-7}$ ) | $r = 2$<br>( $\times 10^{-7}$ ) | $r = 3$<br>( $\times 10^{-7}$ ) | $r = 4$<br>( $\times 10^{-7}$ ) | $r = 5$<br>( $\times 10^{-7}$ ) | $r = 2p$<br>( $\times 10^{-7}$ ) | $r = \frac{2p}{d}$<br>( $\times 10^{-7}$ ) | $r = 2p-M_1$<br>( $\times 10^{-14}$ ) |
|-------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|---------------------------------------|
| 1.          | 15,4                            | 0,048                           | 0,0778                          | 0,325                           | 0,0272                          | 0,00085                          | 0,01025                                    | 1,89                                  |
| 2.          | 499                             | 0,043                           | 0,0614                          | 0,135                           | 0,0893                          | 0,000085                         | 0,1346                                     | 0,897                                 |
| 3.          | 9,93                            | 0,052                           | 0,0593                          | 0,054                           | 0,0101                          | 0,0000147                        | 0,000162                                   |                                       |
| 4.          | 535                             | 0,0338                          | 0,0455                          | 0,08                            | 0,25                            | 0,0000206                        |  | 1,18                                  |
| 5.          | 6,37                            | 0,0553                          | 0,0660                          | 0,075                           | 0,014                           | 0,00024                          | 0,0353                                     | 12,83                                 |
| 6.          | 18,69                           | 0,0513                          | 0,0635                          | 3,07                            | 0,0405                          | 0,00014                          | 0,001656                                   | 6,02                                  |
| 7.          | 80,8                            | 0,422                           | 1,432                           | 0,305                           | 0,0849                          | 0,000017                         | 0,305                                      | 1,15                                  |
| 8.          | 189,89                          | 0,0653                          | 0,1149                          | 0,143                           | 0,0246                          | 0,000019                         | 0,1428                                     | 0,25                                  |
| 9.          | 78,21                           | 0,0529                          | 0,0627                          | 0,032                           | 0,233                           | 0,000058                         | 0,00245                                    | 0,48                                  |
| 10.         | 73,33                           | 0,0487                          | 0,0559                          | 0,0755                          | 0,155                           | 0,000005                         | 0,058                                      | 0,38                                  |
| 11.         | 279,88                          | 0,0706                          | 0,00078                         | 0,094                           | 0,148                           | 0,0000193                        | 0,0942                                     | 0,935                                 |
| 12.         | 12,3                            | 0,0503                          | 0,0804                          | 0,37                            | 0,0327                          | 0,00199                          | -  | 29,8                                  |
| 13.         | 14,91                           | 0,0597                          | 0,0995                          | 0,238                           | 0,0317                          | 0,0006                           | -  | 46                                    |
| 14.         | 31,4                            | 2,43                            | 0,0842                          | 0,266                           | 0,0882                          | 0,000659                         | 0,00734                                    | 33,8                                  |

| Nr. current | $r = 0$<br>( $\times 10^{-7}$ ) | $r = 2$<br>( $\times 10^{-7}$ ) | $r = 3$<br>( $\times 10^{-7}$ ) | $r = 4$<br>( $\times 10^{-7}$ ) | $r = 5$<br>( $\times 10^{-7}$ ) | $r = 2p$<br>( $\times 10^{-7}$ ) | $r = \frac{2p}{d}$<br>( $\times 10^{-7}$ ) | $r=2p-N1$<br>( $\times 10^{-14}$ ) |
|-------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|----------------------------------|--|------------------------------------|
| 15.         | 10,58                           | 0,0350                          | 0,15                            | 0,0678                          | 2,2                             | 0,00000096                       | -  | 0,067                              |
| 16.         | 5,54                            | 0,0408                          | 0,108                           | 0,0402                          | 0,0102                          | 0,0000636                        | 0,0408                                     | 8,75                               |
| 17.         | 15,14                           | 0,0566                          | 0,129                           | 0,0363                          | 0,0168                          | 0,000007                         | -  | 0,98                               |
| 18.         | 12,25                           | 0,0410                          | 0,754                           | 0,0127                          | 0,173                           | 0,0066                           | -  | 193,7                              |
| 19.         | 20,67                           | 0,0473                          | 0,0686                          | 0,2                             | 0,00667                         | 0,00148                          | -  | 56,6                               |
| 20.         | 2,92                            | 0,0142                          | 0,794                           | 0,0185                          | 0,00639                         | 0,0011                           | 0,01847                                    | 25,34                              |
| 21.         | 10,49                           | 0,0503                          | 0,13                            | 0,0747                          | 0,0175                          | 0,000199                         | 0,0746                                     | 4,68                               |
| 22.         | 76                              | 0,0586                          | 0,0612                          | 0,0862                          | 0,218                           | 0,0000063                        | 0,00272                                    | 0,068                              |
| 23.         | 58,8                            | 0,0550                          | 0,0672                          | 0,101                           | 0,827                           | 0,0000037                        | 0,0121                                     | 0,36                               |
| 24.         | 32,92                           | 0,067                           | 0,105                           |                                 | 0,0518                          | 0,0000289                        |  | 1,67                               |

Tabela 64-Nivelul de zgomot electromagnetic  $L_{prFe}$  pentru cazul ajustajului la joc, în [dB].

| Nr. curent | r=0    | r=2    | r=3   | r=4    | r=5    | r=2p  | $r=\frac{2p}{d}$ |
|------------|--------|--------|-------|--------|--------|-------|------------------|
| 1.         | 169    | 7,8    | 8,37  | 9,2    | 9,3    | 9,7   | 9,4              |
| 2.         | 184,47 | 4,12   | 4,096 | 2,89   | 5,49   | 4     | 5,2              |
| 3.         | 173    | 8,23   | 9,3   | 9,38   | 9,34   | 8,85  | 9,3              |
| 4.         | 176,1  | 0,98   | 0,35  | 0,0146 | 0,46   | 0,97  | -                |
| 5.         | 160,5  | 13,68  | 14,34 | 14,44  | 14,94  | 14,73 | 13,68            |
| 6.         | 165,3  | 5,07   | 5,56  | 6,3    | 6,54   | 6,27  | 6,6              |
| 7.         | 202,5  | 26,19  | 27    | 28,13  | 27,81  | 27,72 | 28,13            |
| 8.         | 202    | 9,75   | 7,75  | 6,7    | 6,87   | 7,1   | 6,65             |
| 9.         | 188,88 | 0,65   | 0,67  | 0,69   | 0,694  | 1,71  | 0,93             |
| 10.        | 190,47 | 2,52   | 1,63  | 1,2    | 0,884  | 1,36  | 0,23             |
| 11.        | 182,72 | 4,21   | 4,21  | 3,1    | 2,55   | 3,03  | 3,1              |
| 12.        | 144,94 | 0,78   | 2,08  | 2,2    | 2,49   | 2,51  | -                |
| 13.        | 157    | 6,1    | 6,52  | 6,86   | 6,89   | 6,71  | -                |
| 14.        | 157,29 | 0,0217 | 1,1   | 1,23   | 1,67   | 1,3   | 1,66             |
| 15.        | 183,17 | 21,55  | 20,6  | 20,1   | 19,88  | 20,5  | -                |
| 16.        | 133,96 | 8,24   | 8,93  | 9,15   | 9,27   | 9,3   | 8,24             |
| 17.        | 185,69 | 11,21  | 13,25 | 25,7   | 14,47  | 13,67 | -                |
| 18.        | 149,73 | 3,32   | 4,69  | 45,2   | 5,29   | 5,26  | -                |
| 19.        | 150,1  | 0,21   | 0,7   | 1,09   | 1,195  | 1,14  | -                |
| 20.        | 145,88 | 8,06   | 9,07  | 9,48   | 9,5    | 9,52  | 9,4              |
| 21.        | 145,82 | 0,16   | 1,63  | 2,19   | 2,36   | 2,3   | 2,2              |
| 22.        | 190,06 | 2,8    | 0,77  | 0,25   | 0,0277 | 0,9   | 0,0137           |
| 23.        | 192,05 | 1,74   | 0,29  | 0,21   | 0,67   | 0,72  | 0,56             |
| 24.        | 177,80 | 7,21   | 8,2   | 8,26   | 8,36   | 8,3   | 8,1              |

Tabela 65 - Nivelul de zgomot electromagnetic  $L_{prst}$  pentru cazul ajustajului rigid, în [dB].

| Nr. curent | r=0   | r=2   | r=3   | r=4   | r=5   | r=2p  | $r=\frac{2p}{d}$ |
|------------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------------------|
| 1.         | 28,1  | 28,7  | 27,5  | 27,24 | 26,83 | 19,69 | 26,4             |
| 2          | 28,45 | 25,35 | 23,72 | 23,4  | 22,92 | 64,02 | 23,4             |
| 3.         | 22,56 | 28,76 | 47,69 | 27,06 | 26,47 | 58,74 | 36,36            |
| 4.         | 27    | 29,51 | 27,95 | 27,28 | 27,17 | 54,3  | -                |
| 5.         | 34,1  | 29,95 | 28,83 | 28,32 | 27,77 | 28,45 | 29,95            |
| 6.         | 33,3  | 27,41 | 25,97 | 25,6  | 25,23 | 34,92 | 20,35            |
| 7.         | 39,72 | 7,37  | 6,08  | 5,48  | 4,69  | 56,94 | 5,48             |
| 8.         | 29,7  | 25,29 | 24,57 | 24,2  | 23,78 | 53,8  | 24,2             |
| 9.         | 31,5  | 23,62 | 22,78 | 22,59 | 22,29 | 67,24 | 15,74            |
| 10.        | 31,16 | 25,1  | 24,39 | 23,61 | 23,43 | 67,85 | 37,91            |
| 11.        | 35,7  | 24,7  | 64,18 | 23,84 | 23,6  | 53,43 | 23,83            |
| 12.        | 31,43 | 32,34 | 31,22 | 30,3  | 29,51 | 24,57 | -                |
| 13.        | 34,26 | 24,91 | 23,83 | 22,98 | 22,32 | 20,28 | -                |
| 14.        | 35,96 | 6,13  | 24,75 | 24,02 | 23,59 | 15,28 | 21,56            |
| 15.        | 17,62 | 29,15 | 19,12 | 27,33 | 27,04 | 81,16 | -                |
| 16.        | 24,94 | 32,55 | 31,29 | 30,77 | 28,79 | 23,98 | 32,55            |
| 17.        | 27,86 | 21,96 | 20,53 | 21,43 | 18,98 | 66,99 | -                |
| 18.        | 44,99 | 30,38 | 5,72  | 43,37 | 28,6  | 24,98 | -                |
| 19.        | 34,38 | 29,26 | 28,51 | 27,68 | 46,98 | 18,36 | -                |
| 20.        | 27,9  | 23,82 | 29,93 | 28,93 | 27,94 | 22,52 | 28,93            |
| 21.        | 24,75 | 29,51 | 28,07 | 27,64 | 27,12 | 26,7  | 27,64            |
| 22.        | 31,95 | 22,73 | 22,52 | 22,03 | 21,8  | 66,52 | 16,10            |
| 23.        | 28,93 | 24,1  | 23,12 | 22,54 | 22,47 | 70,47 | 21,39            |
| 24.        | 32,26 | 24,1  | 22,64 | 22,14 | 21,83 | 51,1  | 20,04            |

Tabela 66-Nivelul de zgomot electromagnetic  $L_{prfco}$  pentru cazul  
ajustajului de frecvență  $f_p = 100$  Hz în [dB].

| Nr. curent | r=0    | r=2    | r=3   | r=4   | r=5   | r=2p   | $r=\frac{2p}{d}$ | $r=2p-N1$ |
|------------|--------|--------|-------|-------|-------|--------|------------------|-----------|
| 1.         | 174,3  | 28,9   | 29,79 | 30,34 | 30,49 | 31,61  | 30,63            | - 8,76    |
| 2.         | 197,73 | 21,18  | 21,19 | 20,02 | 22,63 | 22,21  | 22,34            | -17,18    |
| 3.         | 175,27 | 25,82  | 26,92 | 27,04 | 27,05 | 27,58  | 27,38            | -12,5     |
| 4.         | 193,2  | 18,16  | 18,81 | 19,2  | 18,76 | 19,06  | -                | -20,18    |
| 5.         | 154,3  | 33,3   | 34,03 | 34,2  | 34,76 | 35,33  | 33,3             | - 4,34    |
| 6.         | 171,72 | 25,57  | 26,11 | 26,88 | 27,17 | 27,55  | 27,44            | -12,28    |
| 7.         | 209,98 | 44,49  | 45,34 | 46,48 | 46,19 | 47,17  | 46,48            | 7,08      |
| 8.         | 227,88 | 10,56  | 12,58 | 13,71 | 13,54 | 13,95  | 13,71            | 11,37     |
| 9.         | 221,4  | 16,54  | 16,53 | 16,54 | 16,56 | 16,6   | 16,37            | -23,05    |
| 10.        | 221,78 | 15,44  | 16,3  | 16,8  | 17,12 | 17,63  | 17,83            | -22,47    |
| 11.        | 212,05 | 16,59  | 16,6  | 17,73 | 18,3  | 18,53  | 17,73            | -21,39    |
| 12.        | 151,28 | 25,98  | 27,33 | 27,5  | 27,84 | 28,12  | -                | -11,62    |
| 13.        | 161,34 | 25,32  | 25,8  | 26,22 | 26,31 | 26,74  | -                | -13,34    |
| 14.        | 168,21 | 20,5   | 21,63 | 21,66 | 22,35 | 22,53  | 22,49            | -17,42    |
| 15.        | 204,5  | -2,445 | -1,48 | -0,92 | -0,73 | -0,445 | -                | -40,54    |
| 16.        | 135,3  | 31,53  | 32,27 | 32,56 | 32,74 | 33,09  | 31,53            | - 6,38    |
| 17.        | 189    | 26,86  | 26,93 | -9,94 | 30,23 | 30,72  | -                | -9,42     |
| 18.        | 152,9  | 25,04  | 26,49 | 67    | 27,23 | 27,52  | -                | -12,26    |
| 19.        | 158,06 | 21,49  | 22,46 | 22,92 | 23,08 | 23,44  | -                | -16,57    |
| 20.        | 144,02 | 30,83  | 31,92 | 32,41 | 32,52 | 32,81  | 32,33            | - 6,83    |
| 21.        | 165,93 | 23,3   | 24,32 | 25,42 | 25,63 | 26,01  | 25,42            | -13,86    |
| 22.        | 221,52 | 14,39  | 16,44 | 16,98 | 17,22 | 17,403 | 17,01            | -41,36    |
| 23.        | 219,61 | 16,23  | 18,27 | 18,21 | 18,68 | 18,92  | 18,62            | -38,63    |
| 24.        | 186,94 | 26,71  | 27,73 | 5     | 27,94 | 28,69  | 28,12            | -11,15    |



Tabela 67 - Nivelul de zgomot electromagnetic  $f_{prsto}$  pentru  
ajustajul rigid și  $f_p = 100$  Hz,  $f_n$ [dB].

| Nr.<br>curent | r=0   | r=2    | r=3     | r=4     | r=5    | r=2p    | $r=\frac{2p}{d}$ | r=2p-N1 |
|---------------|-------|--------|---------|---------|--------|---------|------------------|---------|
| 1.            | 42,92 | - 7,26 | - 2,99  | 9,4     | -12,14 | -42,21  | -20,6            | -115,24 |
| 2.            | 73,15 | - 8,12 | - 5,05  | 1,76    | - 1,8  | -82,23  | 1,76             | -121,76 |
| 3.            | 39,12 | -10,71 | -25,36  | - 4,64  | -19,16 | -77,47  | -56,65           | -117,3  |
| 4.            | 73,75 | -10,24 | - 7,66  | - 2,75  | 6,44   | -74,54  | -                | -119,38 |
| 5.            | 35,26 | - 9,86 | - 4,42  | - 3,3   | -17,87 | -53,18  | - 9,86           | - 98,65 |
| 6.            | 44,6  | - 6,62 | - 2,7   | 28,93   | - 8,66 | -57,84  | -36,44           | -105,23 |
| 7.            | 57,33 | 11,68  | 22,3    | 8,86    | - 2,24 | -76,21  | 8,86             | -119,61 |
| 8.            | 65,15 | - 4,52 | 0,33    | 2,28    | -12,99 | -75     | 2,28             | -132,86 |
| 9.            | 57,05 | - 6,35 | - 4,87  | - 2,54  | 6,53   | -85,55  | -33,04           | -127,21 |
| 10.           | 56,49 | - 7,07 | - 5,87  | - 3,26  | 2,99   | -86,84  | - 5,53           | -129,22 |
| 11.           | 68,12 | - 3,84 | -42,94  | - 1,335 | 2,598  | -75,11  | - 1,33           | -121,4  |
| 12.           | 40,98 | - 6,79 | - 2,71  | 10,55   | -10,54 | -34,84  | -                | -91,34  |
| 13.           | 42,65 | - 5,3  | - 0,86  | 6,71    | -10,8  | -45,19  | -                | -87,56  |
| 14.           | 49,12 | 26,89  | - 2,31  | 7,69    | - 1,91 | -44,44  | -23,5            | -90,24  |
| 15.           | 39,67 | - 9,94 | 2,65    | - 4,19  | 26,04  | -101,17 | -                | -144,3  |
| 16.           | 34,05 | - 8,6  | - 0,16  | - 8,75  | -20,64 | -44,74  | - 8,61           | -101,98 |
| 17.           | 42,78 | - 5,77 | 1,32    | - 9,62  | -16,32 | -83,92  | -                | -121    |
| 18.           | 51,7  | - 8,57 | 16,73   | -12,73  | 3,92   | -24,44  | -                | -75,08  |
| 19.           | 45,49 | - 7,33 | - 4,89  | 5,24    | -24,34 | -37,41  | -                | -85,77  |
| 20.           | 28,48 | 2,2    | 17,13   | -15,49  | -24,70 | -39,97  | -15,49           | -92,74  |
| 21.           | 39,59 | - 5,8  | 1,44    | - 3,35  | -15,95 | -54,83  | -                | -107,41 |
| 22.           | 56,8  | - 5,46 | - 4,67  | - 2,11  | 5,95   | -84,83  | -                | -144,17 |
| 23.           | 54,57 | - 6,01 | - 4,28  | - 0,72  | 17,53  | -89,45  | -19,16           | -149,69 |
| 24.           | 49,53 | - 4,3  | - 0,405 | -       | - 6,54 | -71,6   | -                | -116,36 |

Tabela 68 - Componentele primare înainte și nivelul de zgomot  
electromagnetic rezultat în cazul ajustajului cu joc,  
respectiv rigid

| Nr. curent | L <sub>pre rez</sub> [dB] | L <sub>post rez</sub> [dB] | L <sub>pre rez</sub> [dB] | L <sub>post rez</sub> [dB] | L <sub>pre</sub> [dB] | L <sub>post</sub> [dB] | L <sub>pem</sub> *) [dB] |
|------------|---------------------------|----------------------------|---------------------------|----------------------------|-----------------------|------------------------|--------------------------|
| 1.         | 169                       | 34,45                      | 174,3                     | 42,92                      | 175,5                 | 43,67                  | 51,58                    |
| 2.         | 184,47                    | 64,02                      | 197,70                    | 73,15                      | 198                   | 73,75                  | 81,21                    |
| 3.         | 173                       | 59,14                      | 175,27                    | 39,12                      | 177,17                | 59,24                  | 66,32                    |
| 4.         | 176,1                     | 54,3                       | 193,2                     | 73,75                      | 193,4                 | 73,75                  | 80,93                    |
| 5.         | 160,5                     | 34,4                       | 154,3                     | 35,26                      | 161,5                 | 38                     | 45,41                    |
| 6.         | 165,3                     | 38,32                      | 171,72                    | 44,6                       | 172,67                | 45,6                   | 53,2                     |
| 7.         | 202,5                     | 56,94                      | 209,93                    | 57,33                      | 210,80                | 60,10                  | 69,14                    |
| 8.         | 202                       | 53,8                       | 227,88                    | 65,15                      | 227,98                | 65,5                   | 75,25                    |
| 9.         | 188,88                    | 67,24                      | 221,4                     | 57,05                      | 221,4                 | 67,74                  | 76,96                    |
| 10.        | 190,47                    | 67,85                      | 221,78                    | 56,49                      | 221,78                | 68,25                  | 77,46                    |
| 11.        | 182,72                    | 53,43                      | 212,05                    | 68,12                      | 212,05                | 68,25                  | 64,15                    |
| 12.        | 144,94                    | 39                         | 151,28                    | 40,98                      | 152,20                | 43                     | 49,55                    |
| 13.        | 157                       | 35,85                      | 161,34                    | 42,65                      | 162,8                 | 43,6                   | 50,75                    |
| 14.        | 157,29                    | 36,89                      | 168,21                    | 49,12                      | 168,61                | 89,35                  | 94,11                    |
| 15.        | 183,17                    | 81,16                      | 204,5                     | 39,67                      | 204,5                 | 71,16                  | 79,16                    |
| 16.        | 133,96                    | 37,05                      | 135,3                     | 34,05                      | 137,7                 | 38,8                   | 44,73                    |
| 17.        | 185,69                    | 66,99                      | 189                       | 42,78                      | 190,7                 | 67                     | 74,42                    |
| 18.        | 149,73                    | 47,35                      | 152,9                     | 51,7                       | 154,8                 | 53,2                   | 59,3                     |
| 119.       | 150,1                     | 47,35                      | 158,06                    | 45,49                      | 158,8                 | 49,60                  | 56,15                    |
| 20.        | 145,88                    | 34,18                      | 144,02                    | 28,48                      | 148                   | 35,2                   | 41,97                    |
| 21.        | 145,82                    | 35,25                      | 165,93                    | 39,59                      | 166                   | 41                     | 48,5                     |
| 22.        | 190,06                    | 66,52                      | 221,52                    | 56,8                       | 221,52                | 67                     | 76,27                    |
| 23.        | 192,05                    | 70,47                      | 219,61                    | 54,57                      | 219,61                | 70,5                   | 79,45                    |
| 24.        | 177,80                    | 51,5                       | 186,94                    | 49,53                      | 187,44                | 53,4                   | 61,44                    |

\*) - Calculat cu  $S_{rm} = 0,94$

Tabela 69 - Valorile strângerilor realizate între fierul activ și carcasă

| Nr. curent<br>HG | $L_{ps=0} - L_{pGE}$<br>[dB] | $L_{ps=0} - L_{ps=100}$<br>[dB] | $S_r$<br>[%] |
|------------------|------------------------------|---------------------------------|--------------|
| 1                | 175,5 - 82                   | 175,5 - 43,67                   | 70,9         |
| 2                | 198, - 81                    | 198 - 73,75                     | 94,2         |
| 3                | 177,17 - 87                  | 177,14 - 59,24                  | 76,5         |
| 4                | 193,4 - 80                   | 193,4 - 73,75                   | 94,776       |
| 6                | 172,67 - 77                  | 172,67 - 45,6                   | 75,3         |
| 7                | 210,80 - 74                  | 210,80 - 60,10                  | 90,78        |
| 8                | 227,98 - 73                  | 227,98 - 65,5                   | 95,38        |
| 9                | 221,4 - 78                   | 221,4 - 67,74                   | 93,32        |
| 10               | 221,78 - 72                  | 221,78 - 68,25                  | 97,557       |
| 14               | 168,61 - 92                  | 168,61 - 89,35                  | 96,656       |
| 15               | 204,5 - 81                   | 204,5 - 71,16                   | 92,37        |
| 17               | 190,7 - 78                   | 190,7 - 67                      | 91           |

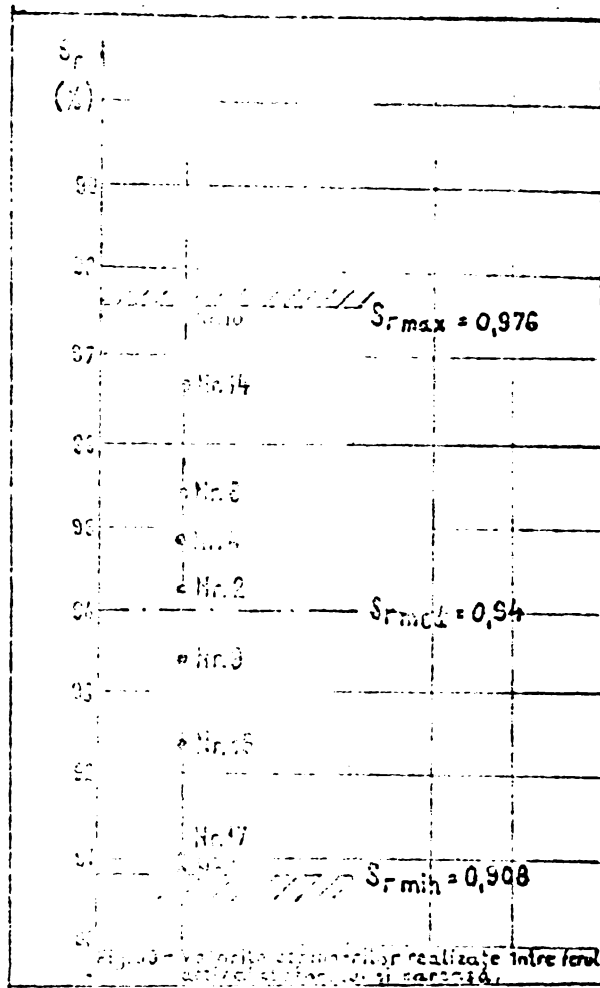


Fig. 99 - Valorile experimentale realizate între level  
 de calculație și sarcină.

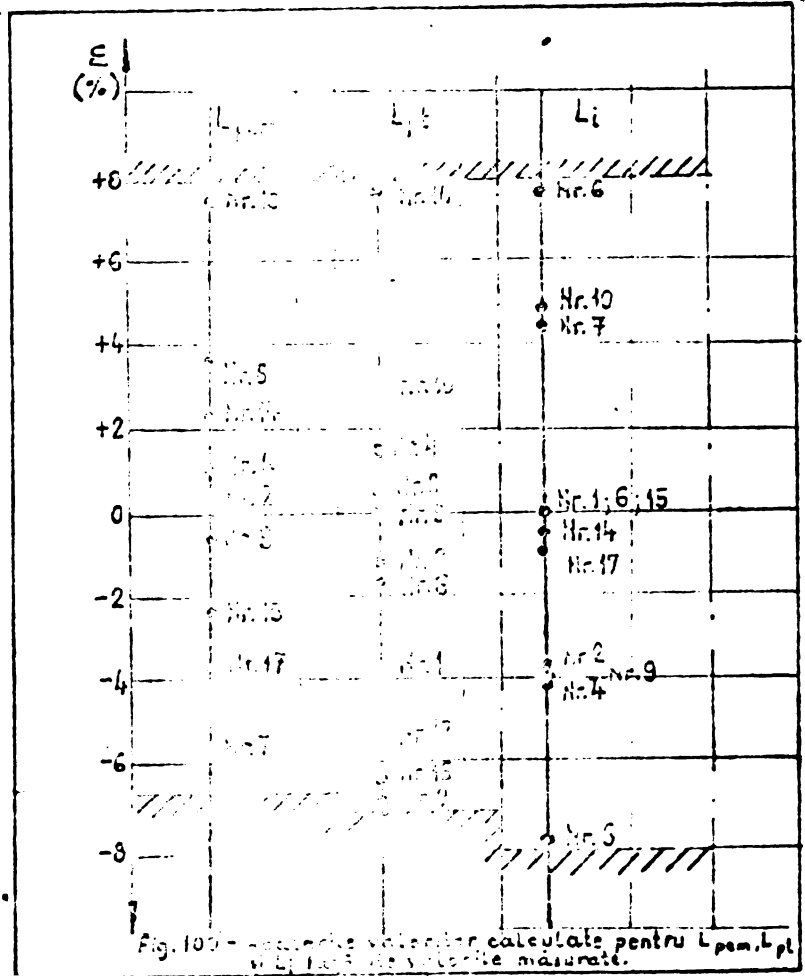


Fig. 100 - Distribuția valorilor calculate pentru  $L_{per}, L_{pt}$   
 și  $L_i$  față de valorile măsurate.

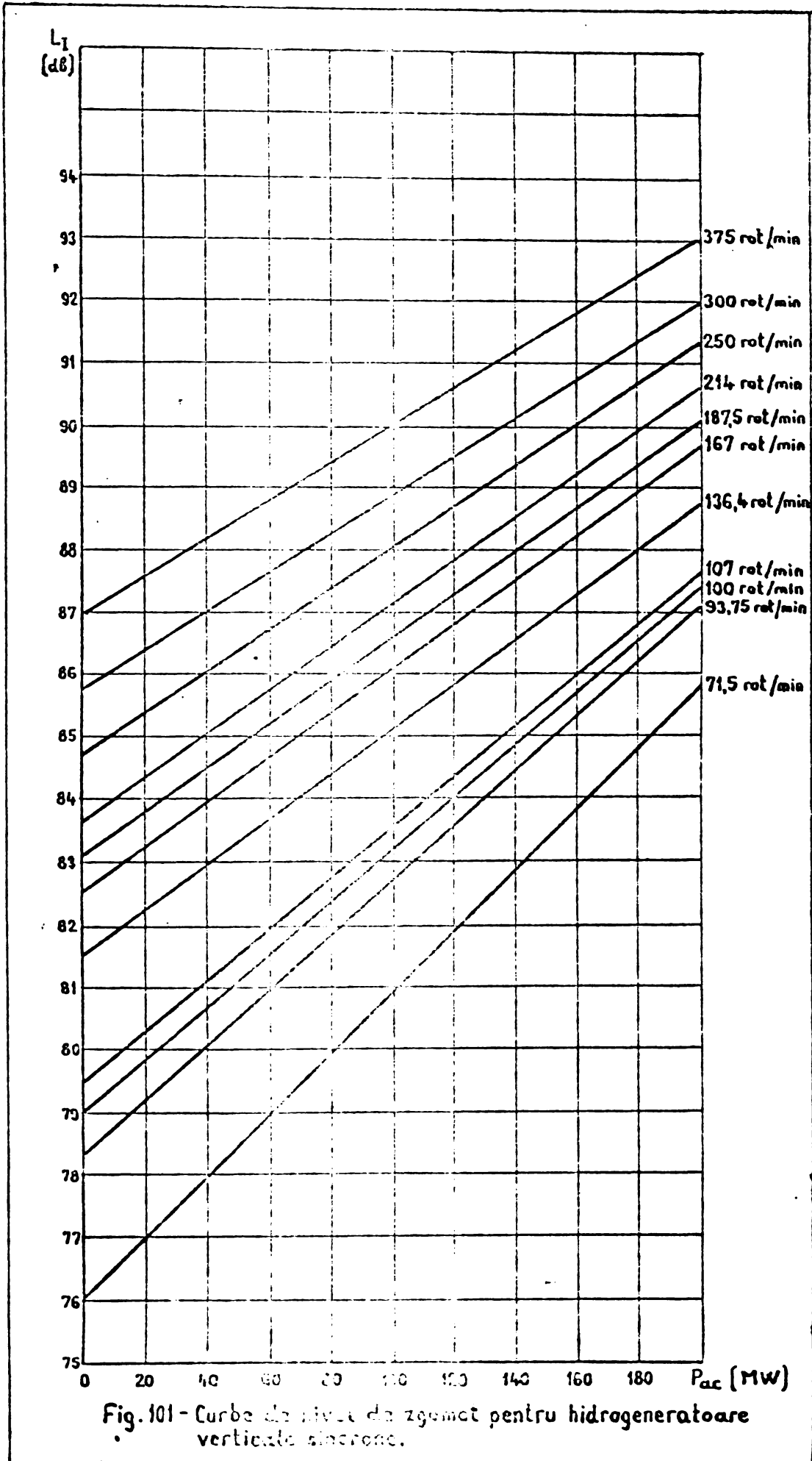


Fig. 101 - Curbe de nivel de zgomot pentru hidrogenatoare verticale sincrone.

Tabela 70 - Alegerea tipului de ventilator și nivelul de zgomot  $L_{pv}$  produs de ventilator

| Nr. curent HG. | $n_s$<br>(rot/min) | Tipul ventilator   |                    | $10 \log_{10} \frac{7}{2} n^6$ | $L_p$<br>din fig.20<br>(dB) | $L_{pv}$<br>(dB) |
|----------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------------------|-----------------------------|------------------|
|                |                    | Indicat în fig.25. | Aplicat în proiect |                                |                             |                  |
| 1.             | 219                | Radial             | Radial             | 179                            | 94                          | 80               |
| 2.             | 234                | -"-                | -"-                | 180                            | 95                          | 81               |
| 3.             | 204                | -"-                | -"-                | 179                            | 94                          | 80               |
| 4.             | 223                | -"-                | -"-                | 186                            | 101                         | 97               |
| 5.             | 291                | -"-                | -"-                | 182                            | 97                          | 83               |
| 6.             | 379                | Semi axial         | -"-                | 184                            | 99                          | 85               |
| 7.             | 129                | Radial             | -"-                | 169                            | 84                          | 70               |
| 8.             | 205                | -"-                | -"-                | 175                            | 90                          | 76               |
| 9.             | 142                | -"-                | -"-                | 181                            | 96                          | 82               |
| 10.            | 121                | -"-                | -"-                | 113                            | 29                          | 15               |
| 11.            | -                  | -                  | -                  | -                              | -                           | -                |
| 12.            | 430                | Axial              | Axial              | 197                            | 112                         | 98               |
| 13.            | 396                | Semi axial         | -"-                | 194                            | 109                         | 95               |
| 14.            | 355                | -"-                | -"-                | 197                            | 112                         | 98               |
| 15.            | -                  | -                  | -                  | -                              | -                           | -                |
| 16.            | 509                | Axial              | Radial             | 181                            | 96                          | 82               |
| 17.            | 172                | Radial             | -"-                | 174                            | 89                          | 75               |
| 18.            | 456                | Axial              | Axial              | 196                            | 111                         | 97               |
| 19.            | 402                | Semi axial         | -"-                | 200                            | 115                         | 101              |
| 20.            | 403                | -"-                | -"-                | 192                            | 107                         | 93               |
| 21.            | 217                | Radial             | -"-                | 191                            | 106                         | 92               |
| 22.            | 143                | -"-                | Radial             | 181                            | 96                          | 82               |
| 23.            | 139                | -"-                | -"-                | 179                            | 94                          | 80               |
| 24.            | 125                | -"-                | -"-                | 180                            | 95                          | 81               |

Tabela 71 - Nivelul de zgomot global calculat și măsurat la mersul în gol excitat și abaterea dintre aceste valori

| Nr. curent hidrogeneratoare | Valori calculate [dB] |           |          |       | Val. măsurate [dB] |            | Abaterea $\epsilon$ [%] |          |        |
|-----------------------------|-----------------------|-----------|----------|-------|--------------------|------------|-------------------------|----------|--------|
|                             | $L_{pv}$              | $L_{pem}$ | $L_{pt}$ | $L_i$ | $L_{pGE}$          | $L_{ptGE}$ | $L_{pem}$               | $L_{pt}$ | $L_i$  |
| 1.                          | 80                    | 51,58     | 80       | 85    | 82                 | 85         | -37                     | -5,88    | 0      |
| 2.                          | 81                    | 81,21     | 84       | 82    | 80,5               | 85         | +0,88                   | -1,18    | -3,53  |
| 3.                          | 80                    | 66,32     | 80,2     | 83,8  | 86,5               | 91         | -23,32                  | -14,87   | -7,9   |
| 4.                          | 87                    | 80,93     | 88       | 83,4  | 80                 | 87         | +1,16                   | +1,5     | -4,14  |
| 5.                          | 83                    | 45,41     | 83       | 87    | -                  | -          | -                       | -        | -      |
| 6.                          | 85                    | 53,22     | 85       | 86,5  | 77                 | 86,5       | -30,88                  | -1,73    | 0      |
| 7.                          | 70                    | 69,14     | 72,6     | 81,6  | 73,5               | 78         | -5,93                   | -6,92    | +4,62  |
| 8.                          | 76                    | 75,25     | 78,4     | 84    | 72,5               | 78         | +3,80                   | +0,5     | +7,7   |
| 9.                          | 82                    | 76,96     | 83,25    | 80    | 77,5               | 83         | -0,70                   | +0,3     | -3,62  |
| 10.                         | 15                    | 77,46     | 77,46    | 79,2  | 72                 | 75,5       | +7,58                   | +2,60    | +4,9   |
| 11.                         | -                     | 64,15     | 64,15    | 80,9  | -                  | -          | -                       | -        | -      |
| 12.                         | 98                    | 49,55     | 98       | -     | -                  | -          | -                       | -        | -      |
| 13.                         | 95                    | 50,75     | 95       | -     | -                  | -          | -                       | -        | -      |
| 14.                         | 98                    | 94,11     | 99,6     | 92    | 92                 | 92,5       | +2,29                   | +7,68    | -0,54  |
| 15.                         | -                     | 79,16     | 79,16    | 84,5  | 81                 | 84,5       | -2,29                   | -6,32    | 0      |
| 16.                         | 82                    | 44,73     | 82       | -     | -                  | -          | -                       | -        | -      |
| 17.                         | 75                    | 74,42     | 77,7     | 82,7  | 77,5               | 82         | -3,97                   | -5,24    | +0,855 |
| 18.                         | 97                    | 59,3      | 97       | -     | -                  | -          | -                       | -        | -      |
| 19.                         | 101                   | 56,15     | 101      | -     | -                  | -          | -                       | -        | -      |
| 20.                         | 93                    | 41,97     | 93       | -     | -                  | -          | -                       | -        | -      |
| 21.                         | 92                    | 48,5      | 92       | 88,7  | -                  | -          | -                       | -        | -      |
| 22.                         | 82                    | 76,27     | 83,1     | 80,2  | -                  | -          | -                       | -        | -      |
| 23.                         | 80                    | 79,45     | 82,7     | 79,2  | -                  | -          | -                       | -        | -      |
| 24.                         | 81                    | 61,44     | 81       | 83,7  | -                  | -          | -                       | -        | -      |

Analizînd rezultatele obținute la calcule, se constată următoarele :

- undele de forță magnetice radiale produse de armonicile de cîmp și de fundamentală, care determină zgomotul electromagnetic, sînt definite prin relațiile stabilite pentru numărul de ordine  $r$  și frecvența acestora  $f_r$ , ale căror valori calculate și prezentate în tab. 22-47 au un spectru cuprins în domeniul 500 - 10.000 Hz;

- cu ajutorul relațiilor expuse se pot trasa curbele de variație a amplitudinii forțelor magnetice radiale specifice ale statorului  $R_{rsp}$  și polului  $R_{psp}$  în funcție de coeficientul de acoperire polară  $\alpha_i$ , ale căror valori calculate sînt prezentate în tab. 48, iar curbele respective trasate sînt prezentate în fig. 73-96. Cu ajutorul acestor curbe se poate determina  $\alpha_i$  optim pentru care forța magnetică rezultantă este nulă și deci zgomotul electromagnetic are valoare minimă. Examinînd valorile obținute pentru  $\alpha_i$  optim, cu cele adoptate în proiect, se constată că în cazul hidrogenatoarelor nr. 4,9, 12,14,16,19,20,24 cele două valori sînt identice, iar în cazul hidrogenatoarelor nr. 2,3,8,10,13,17,18,23 cele două valori au abateri maxime. Cu ajutorul valorilor calculate pentru  $\alpha_i$  optim s-a trasat curba  $\alpha_i = f(\zeta)$  prezentată în fig. 97, cu ajutorul căreia se va putea dimensiona corect lățimea tălpii polare, în fază de proiectare, astfel încît nivelul de zgomot să fie minim. Totodată se constată că condiția recomandată în literatura de specialitate pentru asigurarea unui nivel de zgomot minim, exprimată prin relația  $\frac{b_i}{t_1} = \text{nr. întreg}$ , nu este sufi-

cientă deoarece ea corespunde pentru cazul cînd se anulează numai forța magnetică radială specifică  $R_{psp}$  așa după cum rezultă din relațiile (72) (73) (74), dar nu și forța magnetică rezultantă  $R_{rez} = R_{rsp} + R_{psp}$  așa după cum confirmă figurile susmenționate. Cu ajutorul valorilor calculate s-a trasat curba  $\frac{b_i}{t_1} = f(\zeta)$ , care va permite alegerea corectă a pasului dintre creștăturile statorului în funcție de pasul polar și arcul polar.

- acțiunea armonicilor fracționare este conturată cu ajutorul raportului dintre amplitudinea armonice și cea



a fundamentalei  $K_{\gamma_0}$  și a frecvenței undelor de forțe magnetice radiale  $f_r$ , ale căror valori calculate sînt prezentate în tab.49. Examinînd aceste valori se constată că limita prescrisă  $K_{\gamma_0} \leq 5\%$  este depășită de hidrogenatoarele nr.2,5,7,9, 22, motiv pentru care și nivelul de zgomot al acestor hidrogenatoare este mai ridicat;

- comportarea statorului la vibrații este apreciată cu ajutorul relațiilor stabilite pentru frecvența și amplitudinea oscilațiilor proprii ale fierului activ și ale statorului, care corespund pentru cele două cazuri limită de ajustaj ale acestora și anume cu joc, respectiv rigid, ale căror valori calculate sînt prezentate în tab.50-52, 54-63. Examinînd aceste valori se observă că frecvențele oscilațiilor proprii ale fierului activ au valori maxime pentru  $r = 0$  și pentru fundamentală, celelalte fiind neglijabile, iar frecvențele oscilațiilor proprii ale statorului au valori cuprinse în domeniul  $20 \div 500$  Hz pentru  $r = 0$ ;  $5$ ;  $2p/d$  în domeniul  $300 \div 30.000$  Hz pentru  $r = 2p$ , iar pentru fundamentală acestea sînt în domeniul ultrasunetelor. Amplitudinile vibrațiilor fierului activ și statorului au valori maxime pentru  $r = 0$  restul fiind neglijabile;

- fenomenul de rezonanță poate apare cînd valoarea frecvenței undelor de forțe magnetice radiale este cu puțin mai mică decît frecvența de oscilație proprie a statorului, în care caz factorul de amplificare sau dinamic poate avea valori apreciabile. În tab.56,57,60,61 sînt prezentate valorile calculate pentru factorul dinamic, de unde rezultă că în cazul hidrogenatoarelor nr.13,14 nivelul de zgomot ridicat este influențat în mod deosebit de fenomenul de rezonanță. Frecvențele de rezonanță determinate de armonicile fracționare sînt prezentate în tab.53 prin care se confirmă din nou că hidrogenatorul nr.14 are nivelul de zgomot exagerat din cauza fenomenului de rezonanță;

- nivelul de zgomot crește cu viteza undelor de forțe magnetice radiale pe diametrul exterior al statorului, dacă aceasta depășește viteza sunetului  $v_{\gamma_{s1}} \geq 344$  m/sec., sau suferă o diminuare în caz contrar. Examinînd valorile

calculate și prezentate în tab. 48, rezultă că numai hidrogeneratorul nr. 11 și 21 depășesc această limită;

- nivelul de zgomot electromagnetic este direct proporțional cu amplitudinea vibrației statorului asamblat, care nu poate fi determinată pentru cazul real, deoarece depinde de condițiile tehnice de fabricație și montaj. Din această cauză nivelul de zgomot se efectuează pentru cele două cazuri limită de ajustaj între fierul activ și carcasă și anume ajustaj cu joc și ajustaj rigid. Examinând valorile calculate se observă că nivelul de zgomot în cazul ajustajului cu joc are valori maxime pentru  $r = 0$  și pentru fundamentală. În cazul ajustajului rigid nivelul de zgomot determinat de armonice are aproximativ aceeași pondere pentru  $r = 0, 2, 3, 4, 5, 2p, 2p/d$  în timp ce nivelul de zgomot determinat de fundamentală are valorile maxime pentru  $r=0$ , iar pentru  $r=2, 3, 4, 5, 2p, 2p/d$  are valori negative. Revenind la expresia care definește nivelul de zgomot (12) rezultă că nivelul de zgomot negativ are loc pentru  $p < p_0$  deci când presiunea sursei de zgomot este mai mică decât presiunea de referință admisă, Cu ajutorul acestor componente de zgomot se determină în final nivelul de zgomot rezultat pentru ajustajul cu joc, respectiv pentru ajustajul rigid, valori prezentate în tab. 63. Se observă că nivelul de zgomot rezultat produs de armonice este aproximativ egal cu cel produs de fundamentală.

Valoarea reală a nivelului de zgomot se află în interiorul intervalului determinat de nivelul de zgomot corespunzător ajustajului cu joc și cel corespunzător ajustajului rigid, dar mai aproape de cel din urmă. Pentru determinarea nivelului de zgomot real se propune de către autor determinarea strângerii realizate între fierul activ și carcasă cu ajutorul nivelului de zgomot măsurat, folosind relația (194). Valorile calculate sînt prezentate în tab. 69 și reprezentate grafic în fig. 99, de unde rezultă că strîngerile realizate sînt de ordinul :

$$S_{rmin} = 0,908$$

$$S_{rmed} = 0,94$$

$$S_{rmax} = 0,976$$

Se constată că hidrogeneratoare fabricate de firme de specialitate din străinătate au  $S_r = 0,9665$ , respectiv  $S_r = 0,9237$ , valori care sînt similare cu cele ale hidrogeneratoarelor realizate în țară. Totodată se observă că hidrogeneratoarele 1,3,6 au  $S_r = 0,709 + 0,765$  ceea ce se explică prin faptul că acestea au fost primele hidrogeneratoare realizate în țară.

Cu ajutorul  $S_{rmed} = 0,94$  se calculează nivelul de zgomot electromagnetic, ale cărui valori sînt prezentate în tab.68, de unde rezultă că numai hidrogeneratorul nr.14 depășește limita admisibilă de 85 dB.

- nivelul de intensitate sonoră  $L_I$  determinat cu ajutorul relației (142) în funcție de puterea nominală activă și de turație, la care se aplică un coeficient de corecție  $K$  determinat experimental pe baza măsurărilor de zgomot efectuate, are valorile calculate prezentate în tab.71 și reprezentate grafic în fig.101.

- cu ajutorul metodei de calcul prezentate se stabilește tipul de ventilator recomandat în funcție de turația specifică și se determină nivelul de zgomot produs de ventilator, rezultate prezentate în tab.70.

- însumînd nivelul de zgomot electromagnetic  $L_{pem}$  cu cel determinat de ventilator  $L_{pv}$  se obține nivelul total de zgomot  $L_{pt}$  la mersul în gol excitat, ale cărui valori sînt prezentate în tab.71, în care sînt notate și nivelul de intensitate sonoră  $L_I$  precum și valorile măsurate ale nivelului de zgomot total la mersul în gol excitat  $L_{ptGE}$  precum și componenta de zgomot electromagnetic  $L_{pGE}$ . Se constată că nivelul de zgomot electromagnetic depășește limita admisibilă de 85 dB numai la hidrogeneratorul nr.14, iar nivelul zgomotului produs de ventilator depășește această limită la hidrogeneratoarele nr.4,12,13,14,18,19,20,21. Rezultă deci că în nivelul de zgomot total al hidrogeneratoarelor nr.4,12,13,14,18,19,

20,21 este predominantă componenta de zgomot produsă de ventilator, iar în cel al hidrogeneratoarelor nr. 10,11,15 este predominantă componenta de zgomot electromagnetic. În același tabel sînt prezentate și abaterile  $\varepsilon$  dintre valorile calculate și cele măsurate, care sînt prezentate grafic în fig.100, de unde rezultă următoarele valori medii:

$\varepsilon = 3,24 \%$  - pentru nivelul de zgomot electromagnetic,

$\varepsilon = 4,285 \%$  - pentru nivelul de zgomot total,

$\varepsilon = 3,36 \%$  - pentru nivelul de intensitate sonoră.

care nu depășesc valoarea de 10 % admisă în tehnică.

În concluzie se constată că metoda de calcul stabilită pentru determinarea nivelului de zgomot și vibrații a hidrogeneratoarelor, verificate prin calcule pe cele 24 tipuri distincte de hidrogeneratoare și prin măsurători de zgomot efectuate pe 2 modele și 12 tipuri distincte de hidrogeneratoare aflate în exploatare la centralele hidroelectrice, prezintă suficientă exactitate și este utilă în faza de elaborare a proiectelor de hidrogeneratoare verticale sincrone.

## 7. CONCLUZII

În lucrare se prezintă cauzele care determină apariția zgomotului la hidrogenatoare, factorii și măsura în care aceștia influențează nivelul de zgomot, precum și aspectul acustic al problemei zgomotului. Sînt prezentate relațiile de calcul pentru componentele de zgomot electromagnetic și aerodinamic, pentru nivelul de zgomot total, precum și pentru vibrațiile statorului și a fenomenului de rezonanță. De asemenea este prezentată o metodă de identificare și măsurare a nivelului de zgomot și vibrații, de analiză și de interpretare a rezultatelor, precum și de raportare a acestora la unele criterii de normare. De asemenea sînt propuse unele măsuri concrete de reducere a nivelului de zgomot.

Pentru verificarea practică a rezultatelor teoretice obținute în prezenta lucrare, au fost experimentate două modele de hidrogenatoare verticale de 10 kVA la 50÷160 rot/min, în cadrul stațiunii de cercetare a zgomotului construită de ICPEH în colaborare cu catedra de Mașini Electrice de la IPT. De asemenea au fost efectuate măsurători de zgomot la 12 tipuri distincte de hidrogenatoare aflate în exploatare la centralele hidroelectrice nr.1,2,3,4,6,7,8,9,10,14,15,17, avînd puteri nominale cuprinse în domeniul 6200÷19000 kVA și turații în domeniul 71,5÷375 rot/min.

Pe baza rezultatelor teoretice și experimentale obținute se pot estima următoarele concluzii:

1. Zgomotul total este rezultatul acțiunii simultane a următoarelor componente:
  - zgomotul electromagnetic
  - zgomotul aerodinamic
  - zgomotul mecanic

În cazul modelelor de hidrogenator experimentate, cu turații lente, din valorile nivelului de zgomot măsurat și consemnate în tab.13, rezultă că este preponderentă componenta zgomotului electromagnetic, după care urmează componenta

zgomotului aerodinamic. În cazul celor 24 de tipuri distincte de hidrogeneratoare din valorile nivelului de zgomot calculat și prezentat în tab.71 rezultă că la hidrogeneratoarele 1,3, 4,5,6,9,12,13,14,16,18,19,20,21,22,24 care au turațiile nominale cuprinse în domeniul 100-750 rot/min este predominantă componenta de zgomot produsă de ventilator, în cazul hidrogeneratoarelor nr.10,11,15 care au turațiile nominale cuprinse în domeniul 71,5-107 rot/min predomină componenta zgomotului electromagnetic, iar în cazul hidrogeneratoarelor nr.2,7,8, 17,23 care au turațiile nominale cuprinse în domeniul 93,75-214 rot/min ambele componente de zgomot au aproximativ aceeași pondere. Din cele de mai sus rezultă că zgomotul aerodinamic este preponderent în cazul hidrogeneratoarelor rapide, avînd turația nominală mai mare de 100 rot/min, iar zgomotul electromagnetic este preponderent în cazul hidrogeneratoarelor lente, avînd turația nominală mai mică de 100 rot/min.

Zgomotul mecanic și cel determinat de saturația magnetică sînt foarte mici în raport cu componentele predominante, iar datorită fenomenului de mascare acustică aceste componente secundare se pot neglija deoarece în cazul unei diferențe de 6 dB dintre două componente rezultă o creștere de nivel de zgomot de 1 dB, iar în cazul unei diferențe de 0 dB rezultă o creștere de 3 dB.

2. Pe baza considerațiilor teoretice este elaborată o metodă unitară de calcul a nivelului de zgomot, prezentată la cap. 6.3, în care se stabilesc relațiile pentru definirea următoarelor mărimi:

- numărul de ordine și frecvența undelor de forțe magnetice radiale produse de armonicile de cîmp;
- frecvența și amplitudinea armonicilor fracționare;
- frecvența și amplitudinea oscilațiilor proprii ale statorului în cele două cazuri limită de ajustaj între fierul activ al statorului și carcasă;

- fenomenul de rezonanță;
- curbele de variație a amplitudinii forțelor magnetice radiale specifice ale statorului și polului în funcție de coeficientul de acoperire polară  $\alpha_1$ ;
- viteza undelor de forțe magnetice radiale pe exteriorul fierului activ al statorului;
- nivelul de zgomot electromagnetic și aerodinamic, precum și nivelul de intensitate sonoră în funcție de puterea și turația nominală.

3. Pentru verificarea metodei de calcul se efectuează calculul nivelului de zgomot și vibrații pentru cele 24 tipuri distincte de hidrogeneratoare verticale sincrone proiectate de ICPEH, ale căror rezultate sînt prezentate în Cap. 6.4.

4. Valorile calculate sînt confruntate cu rezultatele experimentale obținute pe cele două modele de hidrogenerator și pe cele 12 tipuri distincte de hidrogeneratoare aflate în exploatare la centralele hidroelectrice. Eroarea dintre valorile calculate și cele măsurate, prezentată în tab.71 și fig.100, au următoarele valori medii:

$\xi = 3,24 \%$  - pentru nivelul de zgomot electromagnetic

$\xi = 4,285 \%$  - pentru nivelul de zgomot total

$\xi = 3,36 \%$  - pentru nivelul de intensitate sonoră

care prezintă suficientă exactitate la nivelul calculelor de proiectare.

5. Pentru efectuarea probelor și interpretarea rezultatelor obținute la măsurători, s-a stabilit o metodă unitară, constînd din:

- programul de probe,

- aparatura necesară pentru măsurători,
- dispoziția punctelor de măsură,
- analiza globală și spectrală a nivelului de zgomot,
- analiza fenomenului de rezonanță,
- extrase din norme pentru aprecierea rezultatelor obținute la probe,

care a fost aplicată în cadrul experimentărilor efectuate.

6. Pe baza analizei factorilor care determină nivelul de zgomot, în Cap.4 se prezintă propuneri de măsuri pentru reducerea nivelului de zgomot, dintre care cele mai importante de care trebuie să se țină seama încă din fază de proiectare, sînt:

- caracteristicile vibroacustice cele mai favorabile se obțin pentru înfășurările simetrice și  $q = \text{întreg}$ ,
- în cazul înfășurărilor fracționare schema de bobinaj a statorului se va elabora astfel încît suma vectorială a TMM pentru armonicele fracționare să nu depășească 5 %,
- pentru numărul de ordine al forțelor magnetice radiale  $r = \text{minim}$  se vor trasa curbele forțelor magnetice radiale specifice pentru stator, respectiv pentru poli în funcție de coeficientul de acoperire polară  $\alpha_i$ . Se va determina  $\alpha_i$  optim pentru care forța magnetică radială rezultantă este nulă,
- pentru alegerea valorilor optime ale lui  $\alpha_i$  și  $b_i/t_i$ , pe baza calculelor efectuate pentru cele 24 tipuri de hidrogenatoare s-au trasat de către autor curbele acestor mărimi în funcție de pasul polar, prezentate în fig.97 și 98,



- reducerea amplitudinii vibrației fierului activ al statorului se obține prin majorarea înălțimii jugului statorului,
- debitul de aer de răcire va fi cel strict necesar, orice rezervă de debit conduce la creșterea nivelului de zgomot aerodinamic,
- viteza de circulație a aerului în canale să nu depășească 20-30 m/sec., iar constanta aerodinamică să fie cât mai mică,
- asigurarea scurgerii aerului în regim laminar prin stabilirea vitezei aerului cât mai constantă în fiecare punct din circuitul de ventilație,
- alegerea corectă a tipului de ventilator în funcție de turație specifică, conform indicațiilor din fig.23,
- asigurarea randamentului maxim pentru ventilator prin realizarea pierderilor minime, care au loc pentru  $d_2^7 \cdot n^6 = \text{minim}$ , în care  $d_2$  și  $n$  sînt diametrul exterior respectiv turația ventilatorului,

7. Aportul și originalitatea lucrării constă din:

- elaborarea metodei unitare de calcul a nivelului de zgomot și vibrații, caracterizată printr-un grad de exactitate suficient pentru calculele de proiectare, care nu apare în literatura de specialitate;
- stabilirea relației pentru determinarea nivelului de zgomot pe baza strîngerii realizate între fierul activ și carcasă, determinată cu ajutorul valorilor măsurate;
- determinarea coeficientului de acoperire polară  $\alpha_1$  optim, pentru cazul cînd forțele magnetice radiale specifice ale statorului

- și polului sînt nule; totodată se constată că condiția recomandată de literatura de specialitate pentru asigurarea unui nivel de zgomot minim, exprimată prin  $\frac{b_i}{t_i} = \text{nr.întreg}$ , nu este suficientă deoarece ea corespunde pentru cazul cînd se ține seama numai de forța magnetică radială specifică a polului;
- stabilirea curbelor pentru  $\alpha_i$  și  $b_i/t_i$  optim în funcție de pasul polar prezentate în fig. 97, 98 în cazul cînd nivelul de zgomot electromagnetic este minim;
  - elaborarea curbelor de nivel de intensitate sonoră  $L_I$  în funcție de puterea și turația nominală, prezentată în fig.101, pentru care eroarea față de valorile măsurate are valoarea medie de 3,36 %;
  - stabilirea unei metode unitare de probe, identificare și interpretare a valorilor măsurate, precum și de apreciere a acestora în raport cu unele norme;
  - stabilirea măsurilor concrete pentru reducerea nivelului de zgomot, prezentate la Cap.5.

8. Prezenta lucrare este rezultatul unor necesități obiective, determinate pe de o parte de nivelul de zgomot ridicat al unor hidrogenatoare aflate în exploatare la centralele hidroelectrice din țară, iar pe de altă parte de ridicarea continuă a indicilor tehnico-economici pe seama creșterii vertiginoase a solicitărilor electromagnetice, de ventilație și mecanice - trăsătură fundamentală a mașinilor electrice moderne.

Reducerea nivelului de zgomot al hidrogenatoarelor în cadrul efortului general de limitare a poluării, conduce la ridicarea calității tehnice și a competitivității hidrogenatoarelor, contribuie la asigurarea perspectivei de export a hidrogenatoarelor, și reprezintă contribuția de utilitate practică și eficiență economică a lucrării. -

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

A. Cărți - Reviste

1. BBC - Die Geräuschbildung der Induktionmotoren -  
-BBC Mitteilungen Nr.5/1933.
2. Bobbert G. - Nachbarschaftsbelästigung durch Betriebslärm  
und andere schallignellen - Lärmbekämpfung  
Heft 5-6/1962.
3. Campbell I - Sources of Motor Noise - SUA August 1963.
4. Carter F.W. - Magnetic Noise in Dynamo Electric Machines -  
- Engineering 1932.
5. Detinko F.M., Zagorodnaja G.A., Fastovskii V.M. -  
Proizvoditi i kolebania elektriceskih mašin  
- Energia 1969.
6. Dombrovskii V.V., Detinko F.M., Eremeev S.A., Ivanov N.P.,  
Ipatov P.M., Kaplan I.Ia., Pinski G.B. - Proiektirovanie  
ghidrogenatorov - Energia 1968.
7. Dordea T. - Mașini Electrice - Editura didactică și  
pedagogică - București 1970.
8. Drafen G. - Gegenwärtiger Stand der Technik bei der  
Behandlung der Schwingungs - und Geräuschpro-  
bleme in Elektromaschinenbau - Elektrik Heft  
11/1963.
9. Federn K. - Erfahrungswerte, Richtlinien und Gütemapstäbe  
für die Beurteilung von Maschinenschwingungen -  
-Konstruktion Heft 8 / 1958.
10. Gorodețkii E.A. - Raschet ventilacionnogo șuma elektri-  
ceskih mašin - Vestnik elektropromisle-  
nosti Nr.6 / 1963.
11. Graham Q., Beckwith S., Milliken F.H. - Magnetic Noise  
in Synchronous Machines - Transaction of the  
American

12. Grumăzescu M., Stan A., Wiegner N., Marinescu V. -  
Combaterea zgomotelor și vibrațiilor - Editura  
Tehnică 1964.
13. Gunnar Marup - Jensen - The problem of Noise in electrical  
Machines - ASEA Journal Nr.3/  
1961.
14. Hak J. - Zur Berechnung der Lüfter elektrischer Maschinen -  
- ETZ(A), Heft 9/1959.
15. Hübner G. - Geräuschprobleme bei elektrischen Maschinen -  
- Schweizerischer Elektrotechnischer Verein Nr.21  
/1963.
16. Hübner G. - Entstehung und Bekämpfung der Geräusche  
elektrischer Maschinen - ETZ(A), Heft 24/1961.
17. Hübner G. - Praktische Geräuschbekämpfung an elektrischen  
Maschinen - Lärmbekämpfung, Heft 5-6/1962.
18. Hübner G. - Geräuschminderung bei grossen elektrischen  
Maschinen - Siemens Zeitschrift, Heft 2/1961.
19. Hübner G. - Aerodynamische Geräusche umlaufender Maschi-  
nenteile - V.D.I. Berichte Nr.48/1961.
20. Hübner G. - Geräuschbildung von Radiallüftern - Siemens  
Zeitschrift, Heft 8/1959.
21. Ipatov P.M. - Garmoniceskie M.D.S. obmotki statora s  
drobnâm cislov pazov na polius i fazu -  
- Sbornik Electrosila Nr.20/1961.
22. Iudin E.Ia. - Izolarea împotriva zgomotelor (traducere  
din l.rusă) - Editura tehnică, București  
1968.
23. Iordan H. - Geräuscharme Elektromotoren - W.Girardet,  
Essen 1950.
24. Iordan H., Nowack S., Weiss M. - Über den magnetischen  
Lärm von Synchronmaschinen - E.u.M., Wien Heft  
1/1967.
25. Kruppe H. - Messung und Beurteilung von Gewerbe - und  
Industrielärm als neue Aufgabe der Technischen

Überwachungs - Vereine - Lärmbekämpfung  
Heft 5-6/1962.

26. Lehman S. - Kraftwellen - Ordnungszahlen und frequenzen magnetischer Geräusche bei elektrischen Maschinen - ETZ(A), Heft 24/1961.
27. Lübcke E. - Beurteilung der Geräusche elektrischer Maschinen - Lärmbekämpfung Heft 5-6/1962.
28. Lübcke E. - Geräuschforschung im Maschinenbau - VDI-Z. 98, Nr.14/1956.
29. Lübcke E. - Zum mechanisch - akustischen Verhalten von elektrischen Maschinen - Zeitschrift für technische Physik Nr.12/1934.
30. Lübcke E. - Schwingungen von Ständern elektrischer gross-Maschinen - Acustica vol.7/1957.
31. Lübcke E. - Entwicklung der Geräuschmeßtechnik zur Lärmbekämpfung an elektrischen Maschinen - ETZ(A), Heft 24/1961.
32. Mattei M.J. - La construction des machines et les problèmes de bruit - Nr.45/1963.
33. Miesner E. - Die Geräusche bei Elektromotoren - ihre Entstehung und Beseitigung - Maschinenwelt und Elektrotechnik Heft 10/1960.
34. Moser H. - Geräuschuntersuchungen an elektrischen Maschinen - Schweizerischer Elektrotechnischer Verein Nr.12/1935.
35. Năstase E, Bichir I- Studiul zgomotului maşinilor electrice - Electrotehnica Nr.11/1963.
36. Oeser K. - Beurteilung und Abwehr von Schwingungen - Lärmbekämpfung Heft 5-6/1962.
37. Opaschi M. - Proiectarea hidrogenatoarelor - ICPEH 1969, uz intern.
38. Putz W. - Über das magnetische Geräusch synchroner Einzelpolmaschinen - Zeitschrift für Elektrotechnik Heft 3/1948.

39. Putz W. - Das Luftspaltfeld der Synchronmaschinen mit ausgeprägten Polen - Archiv f. Elektrotechnik Bd.38 S.263.
40. Răduleț R. - Bazele teoretice ale electrotehnicii - Litografia Învățământului, București 1955.
41. Rentzsch H. - Geräusch - und Lüftungsprobleme bei der Konstruktion elektrischer Maschinen - BBC Nachrichten Sept.1961.
42. Rentzsch H. - Luftströmungsgeräusche in elektrischen Maschinen - ETZ(A), Heft 24/1961.
43. Riggenbach M. - Die Geräuschbildung der Induktionsmotoren - BBC Mitteilungen Nr.5/1933.
44. Schmidt H. - Schall - und Erschütterungsschutz in Kraftanlagen - Energie Nr.6/1961.
45. Staiger A. - Grundlagen für die Vorausberechnung des magnetischen Lärm von Synchronmaschinen mit Einzelpolen - Hanover 1960.
46. Staiger A., Jordan H. - Über den magnetischen Lärm von Synchronmaschinen mit Einzelpolen - AEG - Mitteilungen Nr.52/1962.
47. Siemens - Memoratorul inginerului electrician (traducere din limba germană) - Editura tehnică, București.
48. Thilo H.G., Stendel U. - Analyse von Geräuschen und ihr Zusammenhang mit der Lautstärke - Mitteilung aus dem Zentrallaboratorium des Wernerwerkes des Siemens & Halske A.G. zu Siemensstadt - Dez.1934
49. Timoshenko - Schwingungsprobleme der Technik - Springer, Berlin 1932 (S.323)
50. Tüxen E. - Das Oberwellenverhalten mehrphasiger Wechselstromwicklungen -

51. Walker J.H., Kerruish W. - Open - circuit Noise in Synchronous Machines - The proceedings of the Institution of Electrical Engineers, vol.107, part A, no 36/1960 - SUA ,
52. Wilms W. - Schallmessungen zur Beurteilung des Geräusches von Maschinen - ETZ(A), Heft 24/1961.

B. Standarde

53. CEI 34-1/1969 Rotating electrical machines Rating and performance .
54. ISO/TC 43/1965 Draft secretariat proposal for a test code for the measurement of noise emitted by rotating electrical machinery.
55. CAER 59-7/384 Metode de încercare pentru determinarea nivelului de zgomot .
56. DIN 45632 Geräuschemessung an elektrischen Maschinen, Richtlinien .
57. BS 4196 : 1967 Guide to the selection of methods of measuring noise emitted by machinery .
58. BS 4675:1971 A basis for comparative evaluation of vibration in machinery .
59. EdF 4255 Code d'essais relatif a la mesure du bruit des moteurs electriques .
60. C 51-100/1965 Machines électriques tournantes .
61. STAS 1957/1-74 Acustica fizică. Terminologie .
62. STAS 1957/2-74 Acustica psiho-fiziologică. Terminologie .
63. STAS 1957/4-74 Acustica muzicală. Terminologie .
64. STAS 2599-59 Mărimi periodice și conexe. Terminologie și simboluri .

65. STAS 6451-61 Exprimarea mărimii fizice și a mărimii fiziologice a sunetelor și zgomotelor.
66. STAS 7301-65 Mașini electrice rotative. Metode de măsurare a nivelului zgomotului.
67. STAS 7150-65 Metode pentru măsurarea zgomotului în industrie.
68. STAS 8274-74 Mașini electrice rotative. Nivele admisibile de zgomot.
69. STAS 7536-71 Mașini electrice rotative. Metode de măsurare a nivelului vibrațiilor.
70. STAS 8681-70 Mașini electrice rotative. Nivele admisibile de vibrații.