



A XII-a Conferință Națională multidisciplinară – cu participare internațională  
"Profesorul Dorin PAVEL – fondatorul hidroenergeticii românești",  
SEBEȘ, 2012

## **CONCEPȚIA DISPOZITIVULUI DE DETERMINARE A COEFICIENTULUI FONOAORSORBANT AL MATERIALELOR**

Alin - Cosmin TOT, Mariana ARGHIR

### **DESIGN OF DEVICE FOR DETERMINATION OF THE SOUND ABSORPTION COEFFICIENT**

This paper presents a constructive variant of acoustic impedance tube used to determine the coefficient of sound absorption materials. This alternative design brings a contribution in terms of the number of microphones mounted on the tube impedance control of acoustic vibration generator. The paper contains and the calibration system of microphones mounted on the device.

Cuvinte cheie: tubul de impedanță, determinarea erorilor  
Keywords: impedance tube, the determination of errors

#### **1. Introducere**

În standardizarea europeană ISO 10534-2, determinarea coeficientului de absorbție al unui material se realizează cu ajutorul unui tub de impedanță. Proba, realizată din materialul de testat, căruia i se determină coeficientul de absorbție este montată la unul din capetele tubului de impedanță, iar la celălalt capăt este montat un generator (difuzor), cu ajutorul căruia se generează vibrațiile sonore (de tip: random, pseudo-random sequence, ciupituri) transmise în interiorul tubului. Din interacțiunea undei sonore cu proba, rezultă o undă reflectată cu direcție inversă față de direcția de propagare emisă de sursa generatoare. Funcția de transfer ce determină coeficientul de

absorbție se realizează cu ajutorul a două microfoane, ce culeg nivelul presiunii sonore din interiorul tubului și se transmit prin intermediul unei plăci de achiziție către PC, pentru procesare.

## 2. Detalii privind funcționarea tubului de impedanță

Tubul de impedanță folosit pentru această determinare, trebuie să aibă în interior o suprafață netedă, cu diametrul constant pe toată lungimea tubului (abaterea nu trebuie să depășească  $\pm 2\%$  din diametru), excepție fac porturile pentru microfoane. Materialul folosit pentru realizarea tubului de impedanță trebuie să ofere o rigiditate foarte bună, să atenueze semnificativ transmiterea vibrațiilor, generate de ansamblul mobil al difuzorului, către microfoane.

### 2.1 Domeniul de frecvență

- Domeniul de frecvență în care va funcționa dispozitivul de determinare a coeficientului de absorbție [1]

$$f_i < f < f_u \quad (1)$$

$f_i$  - frecvența limită inferioară

$f$  – frecvența curentă în care funcționează dispozitivul

$f_u$  – frecvența limită superioară

- Condiția constructivă pentru limita superioară de frecvență, acceptată într-un tub de impedanță este [1]:

$$d < 0,85 \lambda_u \quad (2)$$

În care:

$d$  – diametrul tubului,

$\lambda_u$  – lungimea de undă superioară.

### 2.2 Distanța dintre punctele de măsurare

Distanța dintre microfoane depinde de lungimea de undă propagate în interiorul tubului.

Distanța minimă între două puncte de măsură poate fi determinată de frecvența superioară măsurată între aceste puncte de măsurare [1].

$$s < 0,45 \lambda_u \quad (3)$$

s - distanța dintre microfoane.

Se recomandă ca distanța maximă să nu depășească 5% din lungimea de undă a frecvenței inferioare măsurată între aceste puncte de măsurare [1]. Deci

$$s < 0,05 \lambda_l \quad (4)$$

$\lambda_l$  - lungimea de undă inferioară

### 2.3 Lungimea tubului de impedanță

Dimensionarea lungimii tubului se face în asemenea manieră încât să se realizeze o distanță suficientă pentru formarea undelor plane în interiorul tubului. Astfel se recomandă, pentru formarea completă a unei plane, să se aleagă o distanță de minim două diametre între difuzor și ultimul microfon, situație care se repetă între probă și primul microfon.

## 3. Proiectarea dispozitivului

*Dispozitivul este proiectat pentru determinarea coeficienților de absorbție a materialelor, în banda de frecvență 50-1500 Hz și aduce un concept în ceea ce privește numărul de microfoane montate pe tubul de impedanță, controlul permanent al generatorului de vibrație acustică și un sistem de etalonare a microfoanelor montate pe dispozitiv.*

### 3.1 Dimensionarea dispozitivului

#### 3.1.1 Determinarea diametrului interior al tubului

Se alege diametrul interior al tubului, astfel încât să fie îndeplinită condiția din relația (2) și astfel rezultă:

$$0,85 c_0/1500 = 0,194 \quad (5)$$

$c_0$  – viteza sunetului în aer

#### 3.1.2 Determinarea distanței între microfoane și a numărului de puncte de măsură

Utilizând relația (3) se determină distanța maximă între primele 2 microfoane în funcție de frecvența maximă și cu ajutorul relației (4) se determină frecvența minimă care poate fi măsurată între aceste două puncte.

$$0,45 c_0/1500 = 0,1 \quad (6)$$

Luând în considerare faptul că distanța trebuie să fie mai mică sau egală cu rezultatul dat de relația (6) am ales valoarea lui  $s_1$  de 0,085 m

$$0,05 c_0/0,085 = 201,7 \quad (7)$$

Din relațiile (6) și (7) reiese faptul că între cele 2 puncte de măsurare se pot face măsurători în domeniul de frecvență 200 - 1500 Hz. Diferența de bandă se completează prin introducerea unui punct de măsurare situat la o distanță mai mare față de primul microfon. Pentru acuratețea datelor vom lua în calcul o frecvență mai joasă cu 10 Hz față de limita inferioară de măsură (50 Hz).

$$0,05 c_0/40 = 0,42 \quad (8)$$

Determinând astfel valoarea lui  $s_3$  de 0,42 m.

Aflând distanța necesară pentru măsurarea frecvenței inferioare vom determina frecvența superioară care poate fi măsurată în distanța  $s_3$ .

$$0,45 c_0/0,42 = 367,5 \quad (9)$$

Astfel între primele 2 microfoane se realizează măsurători în intervalul 201.7 Hz – 1500 Hz și 360 – 40 Hz între primul și ultimul microfon. Luând în considerare faptul că în primul interval de măsurare se intersectează în proporție de 16 % cu al-doilea interval, putem considera oportună montarea unui punct intermediar de măsurare care să intersecteze cele două domenii, într-o proporție mai mare, montând Mic3 la distanța de 0.21 m ( $s_2$ ). De aici rezultă:

$$0,45 c_0/0,21 = 735 \quad (10)$$

$$0,05 c_0/0,21 = 81,6 \quad (11)$$

Astfel, conform relațiilor de mai sus (10) și (11), vom putea face măsurători în intervalul de 81,6 și 735 Hz.

### 3.1.3 Determinarea lungimii tubului

Considerând suficient 2-3 diametre distanța dintre probă și primul microfon și minim 3 diametre distanță dintre difuzor și ultimul microfon, putem determina lungimea totală a tubului (L).

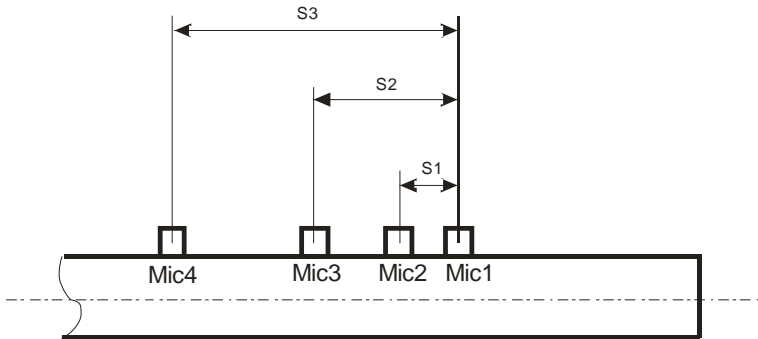


Fig. 1 Distanța dintre punctele de măsură

$$L > 6 D + s_3 \quad (12)$$

$$6 \cdot 0,12 + 0,42 \text{ m} \quad (13)$$

### 3.1.4 Dimensionarea incintei din spatele difuzorului

Luând în considerare cazul în care difuzorul este montat la intersecția a două volume, unul care tinde la  $+\infty$  iar celălalt volum îl determinăm astfel încât difuzorul să poată oferi domenii de frecvență necesare, această dimensionare se poate realiza foarte ușor cu un simulator de incinte acustice de compresie.

Luând în considerare faptul că difuzorul este montat pe planul de separare a celor două volume (volumul tubului de impedanță ( $V_t$ ) și volumul incintei din spatele difuzorului ( $V_i$ )) și că acestea tind să funcționeze în contrafază, vom folosi următoarea formulă de determinare a volumului generat de cele două incinte

$$V_r = \frac{1}{\frac{1}{V_i} + \frac{1}{V_t}} \quad (14)$$

$$0,00612 = \frac{1}{\frac{1}{0,01747} + \frac{1}{0,00942}} \quad (15)$$

$V_r$  trebuie să fie mai mare sau egal cu volumul incintei simulate mai sus, pentru a nu influența/diminua domeniul cu frecvențe generate.

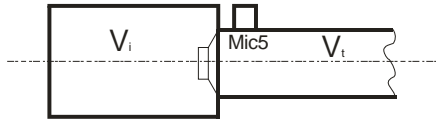


Fig. 2 Amplasarea difuzorului

## 4. Îmbunătățiri aduse dispozitivului

### 4.1 Controlul temperaturii din interior

Determinarea temperaturii din interiorul tubului se realizează cu ajutorul unui senzor rezistiv montat în interiorul tubului de impedanță în apropierea difuzorului astfel încât să afecteze cât mai puțin unda acustică generată de aceasta.

### 4.2 Controlul generatorului de vibrație acustică

Luând în considerare faptul că graficul de răspuns a unui difuzor nu este întotdeauna liniar, se montează pe tub un microfon în apropierea difuzorului, care să monitorizeze în permanență amplitudinea presiunii sonore generate de difuzor.

Distanța față de difuzor, la care se montează microfonul trebuie aleasă astfel încât amplitudinea minimă a presiunii sonore din acel punct să fie suficient de mare pentru a depăși nivelul minim de presiune la care microfonul este capabil să culegă informația. Nivelul de presiune cules din acest punct este transmis către unitatea de procesare și comparat cu nivelul de presiune necesar la momentul respectiv. Din diferența celor două valori, se ajustează semnalul transmis amplificatorului de audio frecvență. Luând în calcul faptul că nivelul maxim (ventru) se află pe suprafața membranei difuzorului iar nivelul minim (nodul) se află la un sfert din lungimea de undă, se va determina nivelul de presiune cu următoarea relație (19):

$$t_1 = \frac{1}{4} \quad (16)$$

$$\lambda_4 = \frac{c_0}{f} \quad (17)$$

$$t_2 = \frac{[(\lambda)_4 - x_5]t_1}{\lambda_4} \quad (18)$$

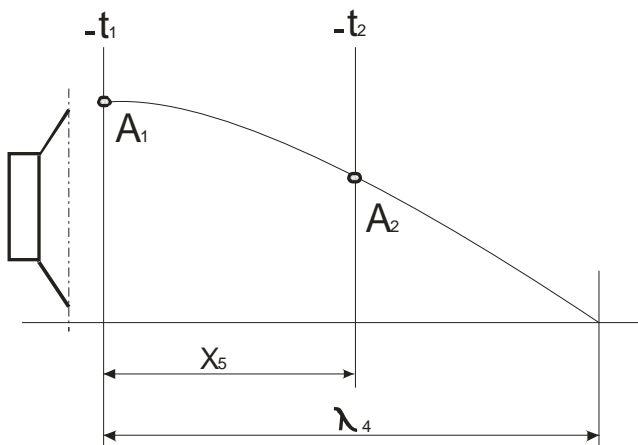


Fig. 3 Reprezentarea oscilației unei sonore

$$A_1 = \frac{A_2 \cdot \sin \omega t_1}{\sin \omega t_2} \quad (19)$$

$A_1$  – amplitudinea presiuni sonore de pe suprafața difuzorului

$A_2$  – amplitudinea presiuni sonore din dreptul microfonului 5

$t_1$  – timpul corespunzător vârfului de presiune

$t_2$  – timpul corespunzător punctului de măsură

$\lambda_4$  –  $\frac{1}{4}$  din lungimea de undă

$X_5$  – distanța dintre microfonul 5 și difuzor

### 4.3 Sistem de etalonare a microfoanelor montate pe dispozitiv

Acest sistem de etalonare se bazează pe diferența valorică dată de un microfon la un timp  $t_0$  culeasă la începutul ciclului de măsurare și valoarea culeasă la sfârșitul ciclului ( $t_n$ ) cu același nivel de presiune sonoră existentă în tub.

Culegerea de valori se realizează în primul rând pe toate punctele de măsură corespunzătoare domeniului de frecvență în care se lucrează. Comparând harta rezultată (tabelul 1) al fiecărui microfon în parte cu un microfon etalon (microfonul 5) vor realiza calibrarea microfoanelor, care culeg informațiile necesare determinării, după care se preiau datele și se introduc în relația de calcul pentru determinarea coeficientului de absorbție. Luând în calcul erorile microfoanelor

utilizate de max  $\pm 3$  dB față de valoare inițială, se vor culege datele inițiale la un moment  $t_0$  pe fiecare microfon în parte la cel puțin două nivele de frecvență.

Exemplu: Pentru microfonul 1 la momentul  $t_0$  se culege valoarea amplitudinii  $A_{1,50}$  corespunzătoare frecvenței de 50 Hz și  $A_{1,1500}$  amplitudinea nivelului superior de frecvență. La sfârșitul ciclului de măsurare se culeg din nou datele corespunzătoare, pentru  $t_n$   $A_{n,50}$  și  $A_{n,1500}$ . Înregistrarea acestor date se vor efectua la același nivel de presiune măsurat de microfonul 5.

Tabelul 1

	$t_0$		$t_n$	
Mic1	$A_{1,50}$	$A_{1,1500}$	$A_{n,50}$	$A_{n,1500}$
Mic2	$A_{1,200}$	$A_{1,1500}$	$A_{n,200}$	$A_{n,1500}$
Mic3	$A_{1,80}$	$A_{1,730}$	$A_{n,80}$	$A_{n,730}$
Mic4	$A_{1,40}$	$A_{1,360}$	$A_{n,40}$	$A_{n,360}$

Determinarea erorilor se va realiza prin diferența măsurătorilor  $t_0$  și  $t_n$  la un anumit punct  $f_i$  cuprins în acest interval, astfel se va determina compensarea necesară  $C_{ti,fi}$  eliminând erorile date de microfon la frecvența  $f_i$

$$C_{ti,f\min} = \frac{A_{1,f\min} - A_{n,f\min}}{t_n} \quad (20)$$

$$C_{ti,f\max} = \frac{A_{1,f\max} - A_{n,f\max}}{t_n} \quad (21)$$

Pentru cazul în care  $C_{ti,f\max} > C_{ti,f\min}$ , se calculează cu relația:

$$C_{ti,fi} = \frac{C_{ti,f\max} - C_{ti,f\min}}{f_{\max} - f_{\min}} \cdot (f_{\max} - f_i) \quad (22)$$

Iar pentru  $C_{ti,f\min} > C_{ti,f\max}$  se folosește relația:

$$C_{ti,fi} = \frac{C_{ti,f\min} - C_{ti,f\max}}{f_{\max} - f_{\min}} \cdot (f_i - f_{\min}) \quad (23)$$

$C_{ti,fi}$  – compensarea necesară la un anumit timp ( $t_i$ ) și o anumită frecvență ( $f_i$ )

$C_{ti,f\min}$  – compensarea necesară pentru frecvență inferioară



$C_{ti,max}$  – compensarea necesară pentru frecvență superioară

$A_{1,fmin}$  – amplitudinea la momentul  $t_0$  a frecvenței inferioare

$A_{1,fmax}$  – amplitudinea la momentul  $t_0$  a frecvenței superioare

$A_{n,fmin}$  – amplitudinea la momentul  $t_n$  a frecvenței inferioare

$A_{n,fmax}$  – amplitudinea la momentul  $t_n$  a frecvenței superioare

$f_{max}$  – frecvență maximă;  $f_{min}$  – frecvență minimă

$t_i$  – timpul la care se dorește să se afle valoarea de compensare

$f_i$  – frecvență la care se dorește să se afle valoarea de compensare.

În faza inițială de calibrare, aceasta se realizează conform metodei propuse de standard dar cele 4 microfoane utilizate la determinare, se raportează la mic5.

În majoritatea cazurilor, microfoanele își păstrează raportul dintre nivelul semnalului redat și presiunea acustică exercitată asupra lui la aceeași temperatură. Cunoscând harta erorilor, la diferite nivele de temperatură putem considera oportună această soluție de calibrare fără a mai utiliza metoda de calibrare propusă de standard.

## 5. Concluzii

■ Acest dispozitiv aduce o inovație în ceea ce privește numărul de microfoane montate pe tubul de impedanță, controlul permanent al generatorului de vibrație acustică și un sistem de calibrare a microfoanelor montate pe dispozitiv.

■ Folosind microfoane ce își păstrează caracteristicile în timp, putem utiliza sistemul de determinare propus fără a mai fi necesară schimbarea locației microfoanelor propusă de standard.

■ În cazul utilizării microfoanelor cu performanțe mai slabe, putem utiliza sistemul de determinare propus, dar este necesară folosirea sistemului de calibrare prin schimbarea locației microfoanelor, înainte de începerea procesului de determinare a coeficientului de absorbție și după.

■ Sistemul de control al generatorului de vibrație ne permite utilizarea unui difuzor ce nu își păstrează caracteristica de răspuns constantă în toată plaja de frecvență.

■ Ca urmare a calculelor de mai sus au rezultat următoarele dimensiuni notate în tabelul 2 .

Tabelul 2

$X_1$	$X_2$	$X_3$	$X_4$	$X_5$	L	L'	D	D'
0.36	0.445	0.57	0.78	0.05	1.545	0.3	0.12	0.2

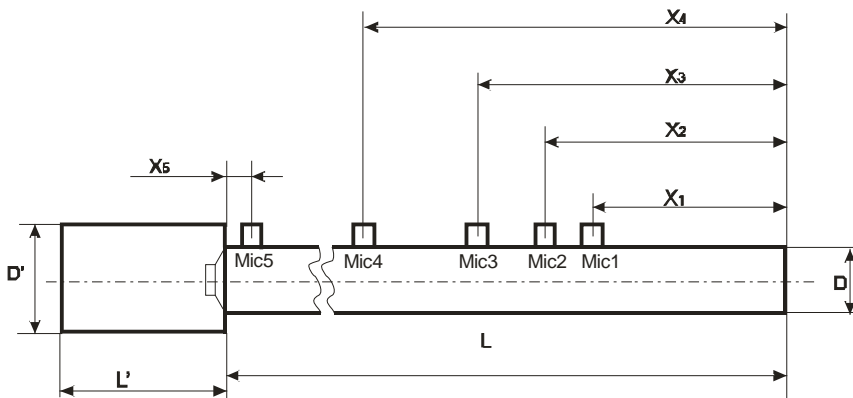


Fig. 4 Dimensiunile dispozitivului

#### BIBLIOGRAFIE

- [1] \* \* \* ISO 10534-2 *Transfer-function method, Determination of absorption coefficient and impedance in impedance tubes*, first edition 1998.  
 [2] Bejan, M., *În lumea unităților de măsură*, ediția a doua revăzută și adăugită, Editura Academiei Române, București 2005 și Editura AGIR, București 2005.

Drd. Ing. Alin-Cosmin TOT  
 Prof. Dr. Ing. Mariana ARGHIR,  
 Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca,  
 e-mail: tot.alin.cosmin@gmail.com , marianaarghir@yahoo.com  
 telefon: 0264 401759, 0264 401657  
 membri AGIR