

EXTINDEREA DOMENIULUI DE FRECVENȚĂ LA ETALONAREA MICROFOANELOR CONDENSATOR PRIN METODA RECIPROCITĂȚII SIMPLIFICATĂ

fiz. drd. Amalia POPESCU¹⁾, prof. dr. ing. Carmen IONESCU GOLOVANOV²⁾,
asist. univ. dr. Mircea BĂRBUCEANU³⁾

¹⁾ BRML-Institutul Național de Metrologie București, ROMÂNIA

²⁾ Universitatea Politehnica București, Facultatea de Electrotehnică, ROMÂNIA

³⁾ Universitatea din Pitești, Facultatea de Științe, ROMÂNIA

Abstract

During the microphones calibration by the reciprocity method into couplers, in order to perform other frequencies than nominal ones calibration, especially couplers, each of them covering a certain interval of frequencies are necessary. Researches leaded to the conclusion that the limits of the interval can be extended using other gas than the air inside the coupler, during the calibration process. Taking account of the features of the used microphones calibration set-up, two acoustic couplers were achieved, for (250...2000) Hz and (2000...5000) Hz frequencies domains.

1. INTRODUCERE

Inițial, instalația de care a dispus colectivul nostru pentru etalonarea microfoanelor prin metoda reciprocității permitea etalonarea acestora la o singură frecvență, date fiind caracteristicile constructive inițiale. După preluarea standardelor internaționale s-a trecut la proiectarea și construirea de cuploare acustice pentru extinderea domeniului de frecvență. Problema care se pune este aceea că nu se poate realiza etalonarea microfoanelor cu un același cuplor pe întregul domeniu de frecvență în care funcționează un microfon, cuploarele acustice comportându-se diferit de-a lungul domeniului de frecvență, în funcție de volumul cavității de cuplare.

Metoda reciprocității în cuploare, dezvoltată teoretic și realizată de autori, prezintă un caracter de noutate prin faptul că s-au construit cuploare proprii corespunzătoare pentru etalonarea la frecvențe joase și cuploarele pentru etalonarea la frecvențe ridicate, acoperindu-se astfel într-o proporție considerabilă, întreg domeniu de frecvență pentru care a fost construit microfonul. Această metodă, în general, se aplică traductoarelor care au calitatea de a fi reciproce și se poate aplica în funcție de condițiile spațiului acustic, în presiune sau în câmp liber.

Așa cum se arată și în cadrul descrierii metodei de etalonare prin tehnica reciprocității, s-au realizat mai multe feluri de cuploare, utilizând atât materiale diferite (cuplor metalic sau cuplor din material plastic) cât și combinații de materiale (părți de cuplor, denumite calibre, unele din aliaj metalic iar altele din material plastic); în final, în urma efectuării a numeroase teste, s-a constatat ca cea mai bună comportare s-a obținut pentru cuplorul format din materiale de naturi diferite.

2. PREZENTAREA GENERALĂ A PROBLEMEI

Baza materială a studiului a fost reprezentată de o instalație de etalonare a microfoanelor prin metoda reciprocității simplificate. Inițial etalonarea microfoanelor se realiza la o singură frecvență (400 Hz), condiționarea fiind dată de tipul de cuplor acustic cu care era dotată instalația.

În urma activității depuse în comitetele de standardizare, pe plan național și internațional, s-a trecut la realizarea cuploarelor pentru etalonarea microfoanelor condensator de 1 inch pe (250 ... 5 000) Hz ținând cont de reglementările internaționale.

Problema care se pune la etalonarea microfoanelor prin metoda reciprocității în cuploare este aceea că, pentru a realiza etalonarea microfoanelor în intervalul de frecvență (250...5000) Hz, sunt necesare cel puțin două tipuri de cuploare acustice, fiecare dintre ele acoperind un anumit subinterval de frecvență. Cercetările au condus la concluzia că limitele domeniului pot fi extinse prin utilizarea, în timpul etalonării a unui alt gaz decât aerul, în interiorul cuploarelor.

Astfel, pornind de la considerațiile din reglementările internaționale și ținând cont de datele instalației de etalonarea microfoanelor din dotare, s-a realizat pentru început proiectul de cuplor și cuplorul acustic pentru domeniul de frecvență (250...2000) Hz și s-a determinat sensibilitatea microfoanelor pe acest domeniu de frecvență. Schema constructivă a acestuia este prezentată în figura 1.

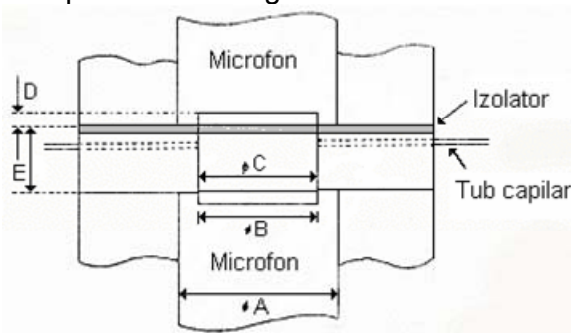


Fig. 1. Cuplor acustic pentru frecvențe joase

A doua etapă a fost aceea de a realiza un cuplor acustic care să permită etalonarea microfoanelor pe domeniul de frecvență (2000...5000) Hz. Schema constructivă a acestui tip de cuplor este prezentată în figura 2.

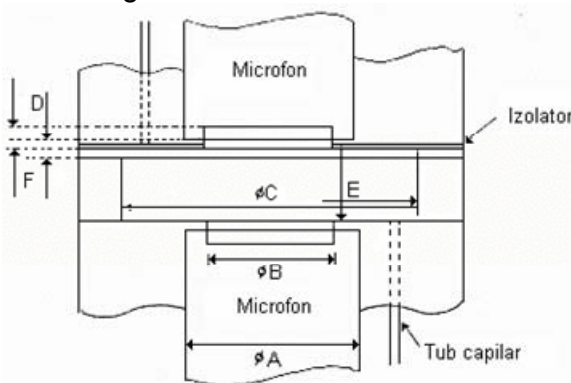


Fig. 2. Cuplor acustic pentru frecvențe ridicate

Realizarea cuploarelor a impus și certificarea dimensiunilor geometrice ale acestora în Laboratorul de Lungimi al Institutului Național de Metrologie București.

Inițial cuploarele au fost realizate din alamă, cerința standardului fiind aceea ca materialul utilizat să fie un aliaj metalic nemagnetic. În a doua fază a cercetării s-au realizat cuploarele din materiale plastice dure și din combinații de materiale plastice cu aliaje metalice nemagnetice, constatându-se faptul că un cuplor realizat dintr-o combinație de material plastic și aliaj metalic se comportă mai bine decât un cuplor realizat în întregime din aliaj metalic. Această comportare a fost observată și pe plan internațional, fiind utilizată la instalațiile primare de ultimă generație fabricate de cea mai renumită firmă de aparatură de măsurare și etalonare din domeniul acustic (Bruël & Kjaer, în colaborare cu Universitatea Tehnică din Danemarca).

În finalul studiului, s-a optat pentru cuploare alcătuite din calibre. Aceste calibre au fost dimensionate astfel încât, prin alăturarea lor să se formeze un cuplor de dimensiuni standardizate. Calibrele sunt construite din tipuri diferite de materiale, aliaje nemagnetice și materiale izolatoare de tip stratitex. Prin utilizarea calibrelor - de exemplu prin introducerea unui calibru intermediar - se poate modifica cu ușurință lungimea cuplorului, putându-se astfel realiza experimente cu o gamă mai mare cuploare, putându-se astfel modifica raportul dintre lungimea și diametrul acestora.

S-au efectuat determinări preliminare utilizând un raport lungime/diametru de $[0,58]$, valoare apropiată de $[0,5]$ - limita inferioară a intervalului recomandat pentru acest raport în standardele internaționale. Determinările finale s-au efectuat utilizând cuplorul format din calibre pentru care raportul lungimea cuplorului/diametrul a fost de $[0,63]$, valoare ce se află la mijlocul intervalului recomandat în standard ($0,5 \dots 0,75$).

3. SCHEMA DE PRINCIPIU A CUPLORULUI ACUSTIC

În figura 3 este prezentat modul de integrare al cuplorului în schema de principiu a etalonării microfoanelor prin metoda reciprocității.

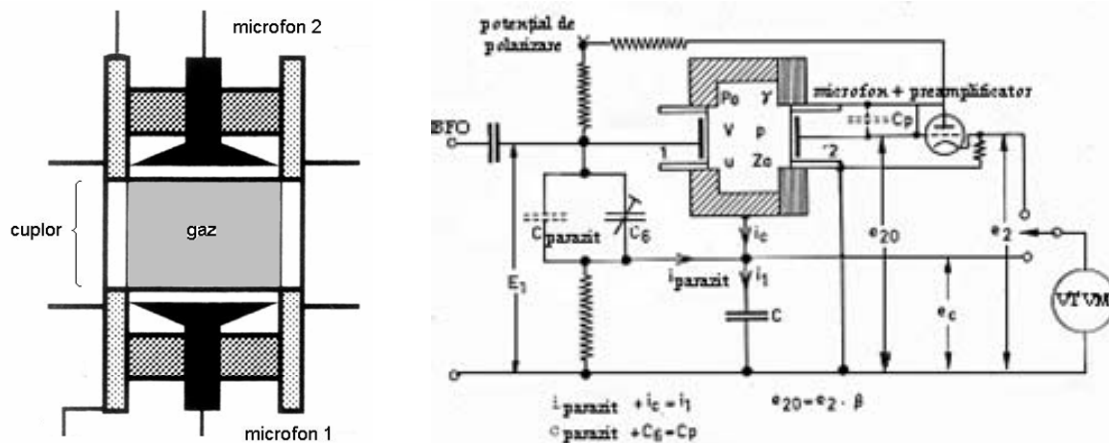


Fig. 3. Plasarea cuplorului în schema de etalonare a microfoanelor prin metoda reciprocității

Pentru etalonarea propriu-zisă se compară tensiunile e_2 și e_c ; dacă aceste tensiuni sunt egale răspunsul mediu al microfoanelor va fi de -50 dB . Dacă se constată că e_2 este de n ori mai mare decât e_c , sensibilitatea medie a microfoanelor va fi de $-50 + n/2 \text{ dB}$ raportat la $1 \text{ V}/\mu\text{bar}$. Raportul n se obține prin comutarea pe cele două poziții ale amplificatorului de măsură, „microfon cu preamplificator” și „direct”.

Raportul sensibilităților celor două microfoane (1) și (2) este stabilit prin folosirea unui al treilea microfon ca emițător (3), prin efectuarea unor măsurări succesive care vor fi comparate cu cele ale microfoanelor (1) și (2).

Dacă microfonul (1) este cu m decibeli mai sensibil decât microfonul (2), sensibilitățile celor două microfoane sunt:

$$\begin{aligned} M_1 &= -50 + n/2 - m/2 \quad \text{dB (ref 1 V/}\mu\text{bar)} \\ M_2 &= -50 + n/2 - m/2 \quad \text{dB (ref 1 V/}\mu\text{bar)} \end{aligned} \quad (1)$$

Utilizând trei microfoane, cuplate două câte două, se obțin câte trei valori ale sensibilității pentru fiecare microfon. La media celor trei valori, reprezentând sensibilitatea microfonului în circuit închis se adaugă corecțiile specifice acestei metode, discutate în continuare:

- corecția datorată valorii diferite a atenuării preamplificatorului față de valoarea de $0,7$ dB prevăzută de constructorul aparatului pentru calibrarea microfoanelor tip 4142;
- corecția datorată valorii diferite a presiunii atmosferice față de presiunea de 760 mmHg, luată ca presiune de referință.

a) Corecția corespunzătoare atenuării introduse de preamplificator

Relația de calcul a corecției este următoarea:

$$v = \frac{\beta - \beta_1}{2} \quad (2)$$

unde: $\beta = 0,7$ este valoare medie a atenuării și β_1 este valoarea atenuării preamplificatorului utilizat, măsurată înaintea etalonării.

Măsurarea atenuării introduse de preamplificator se realizează notând diferența în decibeli dintre valorile indicate de amplificatorul de măsură când semnalul de la generator se aplică direct la terminalul preamplificatorului de microfon și după aceea se comută pe intrarea directă la amplificatorul de măsură.

Valoarea acestei corecții se adaugă la valoarea măsurată a sensibilității microfonului în circuit închis.

b) Corecția cu presiunea ambiantă

Această corecție se calculează cu relația:

$$x = 10 \log \left(\frac{H}{760} \right) \quad (3)$$

unde H este presiunea atmosferică măsurată în mmHg înaintea fiecărei etalonări.

Valoarea acestei corecții se scade din valoarea măsurată a sensibilității microfonului în circuit închis.

4. INCERTITUDINEA METODEI

Produsul sensibilităților celor două microfoane M_1 și M_2 se poate afla măsurând raportul dintre tensiunea de ieșire a preamplificatorului de microfon e_2 și tensiunea e_c la bornele condensatorului C :

$$\frac{e_2}{e_c} = M_1 \times M_2 \times \frac{1,08 \times \gamma \times P_a \times C \times 10^{-7}}{V} \quad (4)$$

Observând termenii acestei expresii, putem identifica și estima sursele de eroare ale metodei de etalonare extinse:

Surse de erori		Incertitudinea
e_2	tensiunea de ieșire a preamplificatorului	0,1 %
e_c	tensiunea la bornele capacității C	0,1 %
1,08	atenuarea standard introdusă de preamplificatorul microfon	0,2 %
γ	raportul căldurilor specifice 1,402	0,05 %
P_a	presiunea aerului ambiant	0,1 %
C	capacitatea în serie cu microfonul emițător cu valoarea de 0,0198 μF	0,1 %
V	volumul cavității + volumele echivalente ale celor două microfoane măsurate în cm^3	0,1 %
C_p	capacitatea parazită de 0,3 pF	0,25 %
E_o	tensiunea de polarizare de 200 V	0,3 %
	Eroare datorată amplificării preamplificatorului de microfon	0,1 %
C_o	variația necontrolabilă a capacității de intrare a preamplificatorului	0,1 %
	Erori datorate citirilor, variației temperaturii, variației tensiunii	0,5 %
Incertitudinea totală (de metodă)		0,7 %

Incertitudinea metodei s-a obținut prin compunerea pătratică a incertitudinilor parțiale. Prin logaritmare se obține incertitudinea standard de tip B , exprimată în decibeli:

$$u_B (dB) = \left[20 \cdot \lg \left(1 + \frac{0,007}{\sqrt{3}} \right) \right] = 0,04 \text{ dB} \quad (5)$$

Calculul efectiv al valorilor de etalonare a fost realizat printr-un program scris în limbajul Pascal, respectând algoritmul de calcul furnizat de colectivul ce a realizat dispozitivul de măsurare și considerentele teoretice.

Valorile măsurate se introduc într-un fișier de date, care este un fișier de tip text, permițând corectarea rapidă a valorilor introduse. Ele se introduc în ordinea în care se obțin în timpul procesului de măsurare: pentru o pereche de microfoane se parcurge întregul spectru de frecvențe care sunt considerate relevante. Valoarea introdusă este diferența dintre valorile obținute pentru microfonul emițător și cea a microfonului receptor, fiind notată cu n_i , $i = 1 \dots 3$ corespunzătoare perechilor de microfoane folosite ca emițător și receptor.

În continuare se determină sensibilitatea microfoanelor:

$$m_i = n_i - n_j, \quad \text{pentru } i \neq j$$

$$M'_i = -50 + \frac{n_i}{2} - \frac{m_i}{2}, \quad \text{pentru } i = 1, 2, 3, \text{ în dB [ref } 1V/\mu\text{bar}] \quad (6)$$

Pentru valorile M_i se elimină valorile aberante conform condiției:

$$|\overline{M}_i - M_{i,j}| \leq 3\sigma, \quad \text{pentru } i = 1 \dots 3 \text{ și } j = 1 \dots \text{nr. determinări} \quad (5)$$

La șirul de valori obținut se aplică corecțiile calculate anterior și se determină, pentru fiecare frecvență și fiecare microfon, abaterea standard și incertitudinea asociată. Datele de intrare și rezultatele se înscriu sub formă de tabele într-un fișier de tip text. S-au realizat câte 10 de șiruri de determinări pentru sensibilitățile microfoanelor din etalonul de grup, cu valoarea presiunii atmosferice la momentul măsurării.

O condiție esențială este aceea de a efectua măsurările într-o încăpere în care nivelul presiunii acustice ambiante să fie mai mic decât valoarea de 30 dB (A).

5. BILANȚUL DE INCERTITUDINI

Prin utilizarea noilor cuploare s-a obținut o diminuare cu $0,06$ dB a incertitudinii extinse, pentru un factor de acoperire $k=2$, față de valoarea obținută utilizând cuplorul prototip pentru domeniul de frecvențe ($2\ 000...5\ 000$) Hz ($U = 0,28$ dB în CE al Etalonului Național). Faptul s-a datorat incertitudinii de tip A care a avut o valoare mai mică decât în cazul utilizării cuplorului construit inițial.

6. REZULTATE EXPERIMENTALE

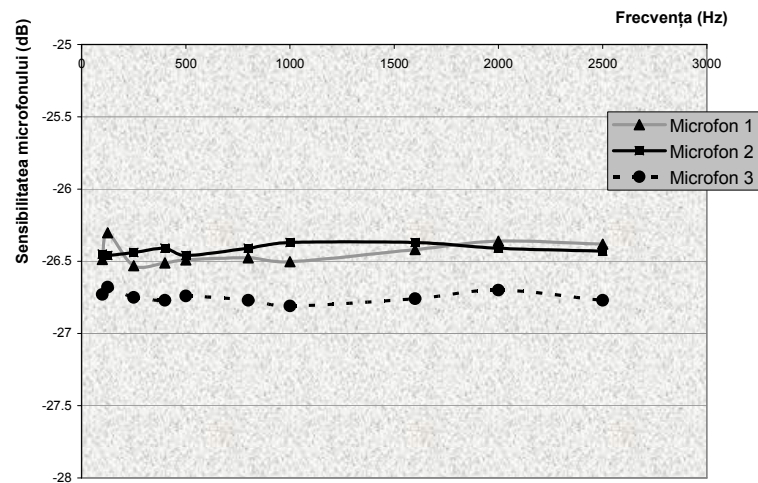


Fig. 4. Sensibilitățile celor trei microfoane din alcatuirea etalonului național obținute utilizând noile cuploare

Bibliografie

- [1] BRUEL&KJAER - Microphone Handbook, 1996
- [2] IEC 1094-1/92 - Measurement microphones. Part 1: Specification for laboratory standard microphones.
- [3] IEC 1094-2/92 - Measurement microphones. Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique.
- [4] EAL-R2- Expression of the Uncertainty of Measurement in Calibration, 1997
- [5] RIETY, P.; LECOLLINET, M. - Le dispositif d'etalonnage primaire des microphones de laboratoire de l'Institut National de Metrologie, Metrologia 10, p. 17 - 34, 1974
- [6] Gibbins, D.L.H. - Contribution to the Reciprocity Calibration of & Gibson, A.V. Microphones, Metrologia 17, 1981, pp 7-15
- [7] Nielsen, K.A. - Microphone Measurements, Copenhagen, p. 40 (1969)
- [8] RASMUSSEN, K. - Radial wave-motion in cylindrical plane-wave couplers, Acta Acustica 1 (1993), 145-151
- [9] Bruel, V. P. - The Accuracy of Condenser Microphones Calibration Methods. Part I and Part II, Technical review, 1-2/1959
- [10] SR 13434 - Ghid pentru evaluarea și exprimarea incertitudinii de măsurare
- [11] Wong, G.S.K. - Precision reciprocity calibration, 97th Meeting of Embleton, T.F.M. the Acoustical Society of America in Cambridge, June 1979

- asist. univ. dr. **Mircea BĂRBUCEANU**, Catedra de Chimie-Fizică a Facultății de Științe, Universitatea din Pitești, str. Târgul din Vale, nr. 1, 110040, ROMANIA, tel. 0248218477, fax 0248216448, e-mail mircea_barbuceanu@yahoo.com;
- fizician CPII **Amalia POPESCU**, BRML-Institutul Național de Metrologie București, Șos. Vitan Bârzești nr. 11, 042122, ROMANIA, e-mail: amalia_popescu@yahoo.com;
- prof. univ. dr. ing. **Carmen IONESCU GOLOVANOV**, Facultatea de Electrotehnică, Universitatea Politehnică București, ROMANIA