

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

AMENDMENT 1 AMENDEMENT 1

**Electroacoustics – Measurement microphones –
Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard
microphones by the reciprocity technique**

**Électroacoustique – Microphones de mesure –
Partie 2: Méthode primaire pour l'étalonnage en pression des microphones
étalons de laboratoire par la méthode de la réciprocité**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2022 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Secretariat
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee, ...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and once a month by email.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Discover our powerful search engine and read freely all the publications previews. With a subscription you will always have access to up to date content tailored to your needs.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 300 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 19 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études, ...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: sales@iec.ch.

IEC Products & Services Portal - products.iec.ch

Découvrez notre puissant moteur de recherche et consultez gratuitement tous les aperçus des publications. Avec un abonnement, vous aurez toujours accès à un contenu à jour adapté à vos besoins.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 300 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 19 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

AMENDMENT 1
AMENDEMENT 1

**Electroacoustics – Measurement microphones –
Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard
microphones by the reciprocity technique**

**Électroacoustique – Microphones de mesure –
Partie 2: Méthode primaire pour l'étalonnage en pression des microphones
étalons de laboratoire par la méthode de la réciprocité**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.140.50

ISBN 978-2-8322-1074-5

**Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.**

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROACOUSTICS – MEASUREMENT MICROPHONES –

Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique

AMENDMENT 1

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this document may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

Amendment 1 to IEC 61094-2:2009 has been prepared by IEC technical committee 29: Electroacoustics.

The text of this Amendment is based on the following documents:

Draft	Report on voting
29/1108/FDIS	29/1112/RVD

Full information on the voting for its approval can be found in the report on voting indicated in the above table.

The language used for the development of this Amendment is English.

This document was drafted in accordance with ISO/IEC Directives, Part 2, and developed in accordance with ISO/IEC Directives, Part 1 and ISO/IEC Directives, IEC Supplement, available at www.iec.ch/members_experts/refdocs. The main document types developed by IEC are described in greater detail at www.iec.ch/standardsdev/publications/.

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under webstore.iec.ch in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

5.5 Heat-conduction correction

Add, after the second existing paragraph, the following new paragraph:

At medium frequencies, transmission line theory, Equation (4), is applied to account for plane wave propagation in the coupler, but the influence of heat conduction at the ends of the coupler cannot be modelled accurately as impedances at the end surfaces. However, it can be demonstrated that, at frequencies where the pressure variations in the length direction of the coupler are moderate, the usable frequency range of the correction factor Δ_H can be extended by application of Δ_H to the cross-sectional area of the coupler, S_0 , for the calculation of the acoustic impedance of the plane waves in the coupler, $Z_{a,0} = \rho c / S_0$ and setting α equal to zero and β equal to ω/c in Equation (4).

Add, after the last existing paragraph, the following notes:

NOTE 1 At the lowest frequencies, application of the correction factor Δ_H to the cross-sectional area of the coupler in Equation (4) is effectively the same as application of the factor to the volume in Equation (3).

NOTE 2 The two methods described in this standard for accounting for heat conduction and viscosity are not entirely consistent at any frequency. However, a transition frequency range can be identified for plane wave couplers used for reciprocity calibration. Estimates for the frequency range of validity are given in Annex A.

6 Factors influencing the pressure sensitivity of microphones

Add, after the existing 6.5, the following new subclause:

6.6 Influence of leakage

At low frequencies, care should be taken to avoid leakage in the coupler as it affects the acoustic transfer impedance. Alternatively, a capillary tube can be used as a controlled leakage. In that case, its effects on the acoustic transfer impedance shall be calculated.

7.3.3.1 Front cavity

Replace "NOTE 1" with "NOTE".

Delete the existing Note 2.

7.3.3.2 Acoustic impedance

Replace the existing second and third paragraphs with the following new paragraph:

At low frequencies, heat conduction in the cavity behind the diaphragm and the pressure-equalizing tube of the microphone contribute significantly to the acoustic impedance of the microphone. The acoustic impedance Z_a of each microphone forms an important part of the acoustic transfer impedance $Z_{a,12}$ of the system. At high frequencies, errors in the determination of Z_a influence the accuracy of the calibration in a complicated way.

Replace "NOTE" with "NOTE 1".

Add, after the existing note, the following new note:

NOTE 2 For type LS1 microphones, heat conduction and pressure equalization result in an increase of the diaphragm compliance that reaches 20 % to 25 % below the lower limiting frequency. For LS2 microphones, the increase is 6 % to 9 %.

Table 1 – Uncertainty components

Add, in column "Relevant subclause no.", line "Unintentional coupler/microphone leakage", the references "6.6; 7.3.2.1".

Delete, in column "Relevant subclause no.", line "Polarizing voltage", the reference "6.5.3".

Replace, in column "Relevant subclause no.", line "Static pressure corrections", the reference "6.5" with "6.5.1".

Replace, in column "Relevant subclause no.", line "Temperature corrections", the reference "6.5" with "6.5.2".

A.1 General

Add, before the last existing paragraph, the following new paragraph:

For plane wave couplers, it can be demonstrated that the low frequency solution correction, when applied to the cross-sectional area of the coupler, is valid at frequencies where pressure variations due to wave-motion are moderate, see [A.5]².

A.2 Low frequency solution

Replace the existing text with the following new text:

At low frequencies, where the sound pressure can be assumed to be the same at all points in the coupler, the effect of heat conduction can be considered as an apparent increase in the coupler volume expressed by a complex correction factor Δ_H to the geometrical coupler volume [A.4], V , in Equation (3) or to the cross-sectional area, S_0 , in Equation (4) with $\chi = 0 + j\omega c$.

² Figures in square brackets refer to Clause A.4.

The correction factor is given by:

$$\underline{\Delta}_H = \kappa - (\kappa - 1)\underline{E}_p \quad (\text{A.1})$$

where $\underline{E}_p$ is a complex quantity derived from the fundamental solution of the Fourier equation for heat conduction and which depends on the coupler geometry. For finite cylindrical couplers, the quantity $\underline{E}_p$ is given by

$$\underline{E}_p = \sum_{m=0}^{+\infty} \sum_{n=1}^{+\infty} \left[\frac{8 / \pi^2}{\left(m + \frac{1}{2}\right)^2 \lambda_n^2} \underline{F}_{m,n} \right] \quad (\text{A.2})$$

with

$$\underline{F}_{m,n} = \left(1 + \frac{\lambda_n^2 R^2 + (m + 1/2)^2 \pi^2}{(1 + 2R)^2 \underline{X}_P^2} \right)^{-1}, \quad (\text{A.3})$$

and where

$R = I_0 / (2a)$ is the length to diameter ratio of the coupler;

a is the radius of the coupler in metres (m);

λ_n are the roots of $J_0(\lambda_n) = 0$, see [A.6], for example; $J_0()$ is the cylindrical Bessel function of the first kind, zero order;

$$\underline{X}_P = A(1-j)l(\sqrt{2})\sqrt{\alpha_t / \omega};$$

A is the total area surface of the cavity (m²);

α_t is the thermal diffusivity of the enclosed gas in square metres per second (m²·s⁻¹).

Tabulated values of $\underline{\Delta}_H$ for typical dimensions of couplers are given in Table A.1 as function of frequency and at reference environmental conditions. The data can be used for validation of calculation software. The tabulated data given are considered accurate to 0,000 01. The quantity $\underline{E}_p$ converges more quickly at low frequencies and for small dimensions of couplers. For example, the modulus of $\underline{\Delta}_H$ is within 0,001 dB from the values in Table A.1 when calculated for $(m,n) = (100,100)$ at 1 995,3 Hz for the largest coupler and for $(m,n) = (2,2)$ at 1,995 3 Hz for the smallest coupler mentioned in Table A.1.

When the quantity $\underline{\Delta}_H$, as calculated from Equation (A.1), is applied to Equation (3), the calculated transfer admittance is assumed to be valid within 0,003 dB for the modulus and 0,01° for the phase at frequencies where $\lambda > 10^2 \cdot \sqrt[3]{V}$. When $\underline{\Delta}_H$ is applied to S_0 in Equation (4) with $\underline{Z} = 0 + j\omega c$, the calculated transfer admittance is assumed to be valid within 0,003 dB and 0,01° at frequencies where $\lambda > 25I_0$. This corresponds to frequencies approximately in the range 1 000 Hz to 3 450 Hz for plane-wave couplers in the range of dimensions given in Table C.1.

Table A.1 – Values for Δ_H

Frequency (Hz)	$a = 9,3 \text{ mm}$ $I_0 = 18,9 \text{ mm}$		$a = 9,3 \text{ mm}$ $I_0 = 11,4 \text{ mm}$		$a = 4,65 \text{ mm}$ $I_0 = 10,4 \text{ mm}$		$a = 4,65 \text{ mm}$ $I_0 = 5,7 \text{ mm}$	
	$\text{Re}(\Delta_H)$	$\text{Im}(\Delta_H)$	$\text{Re}(\Delta_H)$	$\text{Im}(\Delta_H)$	$\text{Re}(\Delta_H)$	$\text{Im}(\Delta_H)$	$\text{Re}(\Delta_H)$	$\text{Im}(\Delta_H)$
1,995 3	1,117 15	–0,091 65	1,141 80	–0,105 09	1,223 30	–0,134 20	1,278 08	–0,136 63
3,981 1	1,083 28	–0,070 22	1,101 15	–0,082 16	1,159 58	–0,113 26	1,198 79	–0,128 79
7,943 3	1,059 08	–0,052 43	1,071 82	–0,062 13	1,113 96	–0,089 93	1,142 13	–0,105 26
15,849	1,041 87	–0,038 50	1,050 92	–0,046 00	1,080 99	–0,068 69	1,101 39	–0,082 31
31,623	1,029 65	–0,027 95	1,036 08	–0,033 59	1,057 44	–0,051 19	1,071 99	–0,062 26
63,096	1,021 00	–0,020 14	1,025 55	–0,024 30	1,040 70	–0,037 54	1,051 04	–0,046 10
125,89	1,014 87	–0,014 44	1,018 09	–0,017 46	1,028 83	–0,027 23	1,036 16	–0,033 66
251,19	1,010 53	–0,010 31	1,012 81	–0,012 49	1,020 41	–0,019 61	1,025 61	–0,024 35
501,19	1,007 45	–0,007 34	1,009 07	–0,008 91	1,014 45	–0,014 05	1,018 14	–0,017 50
1 000,0	1,005 28	–0,005 22	1,006 42	–0,006 34	1,010 23	–0,010 03	1,012 84	–0,012 52
1 995,3	1,003 74	–0,003 71	1,004 55	–0,004 51	1,007 24	–0,007 14	1,009 09	–0,008 93
NOTE 1 The values given in this table are valid at reference environmental conditions only.								
NOTE 2 The zero-frequency value of Δ_H is κ .								

A.3 Broad-band solution

Remove the penultimate existing paragraph.

Replace the existing last paragraph with the following new paragraph:

When calculated with Equation (4) using Equations (A.4) to (A.6), the transfer admittance is estimated to be valid within 0,003 dB and 0,02° at frequencies where $\lambda < 16I_0a$ (the factor 16 is an empirical factor, expressed in m^{–1}). This corresponds to frequencies approximately in the range 175 Hz to 1 150 Hz for plane-wave couplers in the range of dimensions given in Table C.1.

A.4 Reference documents

Replace the existing reference [A.4] with the following new reference:

- [A.4] VINCENT, P.; RODRIGUES, D.; LARSONNIER, F.; GUIANVARC'H, C. and DURAND, S. Acoustic transfer admittance of cylindrical cavities in infrasonic frequency range, Metrologia, 2018, Vol. 56, No. 1

Add the following references:

- [A.5] OLSEN, E.S., Microphone acoustic impedance in reciprocity calibration of laboratory standard microphones, Proceedings of Forum Acusticum 2020, Paper 1023, 2020
- [A.6] WATSON, G.N. A treatise on the theory of Bessel functions. Cambridge University Press. Second edition, 1944

Annex E – Methods for determining microphone parameters

E.4 Acoustic impedance of the microphone

Replace the existing first paragraph with the following new paragraphs and note:

The acoustic impedance can be expressed directly as a complex impedance or as a complex equivalent volume, see IEC 61094-1. At medium frequencies, a lumped parameter representation is possible, whereas the impedance deviates from that of the lumped parameter representation at low and high frequencies. This is particularly important for LS1 microphones at low frequencies where the contribution to the acoustic transfer impedance is significant compared to the uncertainty of measurement.

NOTE The deviation at low frequencies depends on the construction of the back cavity, the pressure equalization system of the microphone and its lower limiting frequency. For LS microphones available at the time of publication of this standard, the deviation will lead to an error in the resulting sensitivity that reaches 0,01 dB around 10 Hz for LS1 microphones and around 2 Hz for LS2 microphones.

At low and medium frequencies, the acoustic admittance of an LS microphone is to a good approximation proportional to the sensitivity of the microphone [E.1]. Hence, the acoustic admittance can be determined with an iterative procedure when a calibration is performed. First, the lumped parameter representation is established, and the sensitivity results are calculated based on this representation. From this sensitivity, the ratio of the acoustic admittance to the sensitivity is determined for a single frequency in the mid-frequency range, e.g. at the local minimum of the sensitivity. The acoustic impedance of the microphone is then calculated from the sensitivity by multiplication with the ratio. The iteration may be repeated based on the new acoustic admittance. Methods for the determination of the lumped parameter representation of a microphone are described in the following.

Add, after Clause E.4, the following new clause:

E.5 Reference documents

- [E.1] SANDERMANN OLSEN, E. and FREDERIKSEN, E. Microphone acoustic impedance in reciprocity calibration of laboratory standard microphones, Inter-noise, 2013, Innsbruck, Austria

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ÉLECTROACOUSTIQUE – MICROPHONES DE MESURE –

Partie 2: Méthode primaire pour l'étalonnage en pression des microphones étalons de laboratoire par la méthode de la réciprocité

AMENDEMENT 1

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments du présent document de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de l'identification de ces droits de propriété en tout ou partie.

L'amendement 1 à l'IEC 61094-2:2009 a été établi par le comité d'études 29 de l'IEC: Électroacoustique.

Le texte de cet Amendement est issu des documents suivants:

Projet	Rapport de vote
29/1108/FDIS	29/1112/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à son approbation.

La langue employée pour l'élaboration de cet Amendement est l'anglais.

Le présent document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2, il a été développé selon les Directives ISO/IEC, Partie 1 et les Directives ISO/IEC, Supplément IEC, disponibles sous www.iec.ch/members_experts/refdocs. Les principaux types de documents développés par l'IEC sont décrits plus en détail sous www.iec.ch/standardsdev/publications/.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous webstore.iec.ch dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

5.5 Correction de conduction thermique

Ajouter, après le deuxième alinéa existant, le nouvel alinéa suivant:

Aux moyennes fréquences, la théorie des lignes de transmission, Equation (4), est appliquée pour prendre en compte la propagation des ondes planes dans le coupleur, mais l'influence de la conduction thermique aux extrémités du coupleur ne peut pas être modélisée avec exactitude sous forme d'impédances sur les surfaces des bases. Toutefois, il peut être démontré qu'aux fréquences auxquelles les variations de pression dans le sens de la longueur du coupleur sont modérées, la plage de fréquences d'utilisation du facteur de correction Δ_H peut être étendue par l'application de Δ_H à l'aire de la section droite du coupleur, S_0 , pour le calcul de l'impédance acoustique des ondes planes dans le coupleur, $Z_{a,0} = \rho c / S_0$ et avec α égal à zéro et β égal à ω/c dans l'Equation (4).

Ajouter, après le dernier alinéa existant, les notes suivantes:

NOTE 1 Aux fréquences les plus basses, l'application du facteur de correction Δ_H à l'aire de la section droite du coupleur dans l'Equation (4) est en fait identique à l'application du facteur au volume dans l'Equation (3).

NOTE 2 Les deux méthodes décrites dans la présente norme pour rendre compte de la conduction thermique et de la viscosité ne sont pas entièrement cohérentes pour toute fréquence. Toutefois, une plage de fréquences de transition peut être identifiée pour les coupleurs en ondes planes utilisés pour l'étalonnage par réciprocité. Les estimations relatives à la plage de fréquences de validité sont données dans l'Annexe A.

6 Grandeurs d'influence sur l'efficacité en pression

Ajouter, après le 6.5 existant, le nouveau paragraphe suivant:

6.6 Influence des fuites

Aux basses fréquences, il convient de veiller à prévenir toute fuite dans le coupleur car cela affecte l'impédance acoustique de transfert. En variante, un tube capillaire peut être utilisé en tant que fuite contrôlée. Dans ce cas, ses effets sur l'impédance acoustique de transfert doivent être calculés.

7.3.3.1 Cavité frontale

Remplacer "NOTE 1" par "NOTE".

Supprimer la Note 2 existante.

7.3.3.2 Impédance acoustique

Remplacer les deuxième et troisième alinéas existants par les nouveaux alinéas suivants:

Aux basses fréquences, la conduction thermique dans la cavité située à l'arrière de la membrane et le tube d'égalisation des pressions du microphone contribuent de façon importante à l'impédance acoustique du microphone. L'impédance acoustique Z_a de chaque microphone constitue une partie importante de l'impédance acoustique de transfert $Z_{a,12}$ du système. Aux fréquences élevées, des erreurs dans la détermination de Z_a influent d'une manière compliquée sur l'exactitude de l'étalonnage.

Remplacer "NOTE" par "NOTE 1".

Ajouter, après la note existante, la nouvelle note suivante:

NOTE 2 Pour les microphones de type LS1, la conduction thermique et l'égalisation des pressions provoquent une augmentation de la conformité de la membrane qui atteint 20 % à 25 % sous la fréquence limite inférieure. Pour les microphones de type LS2, l'augmentation est de 6 % à 9 %.

Tableau 1 – Composantes d'incertitude

Ajouter, dans la colonne "Paragraphe concerné", à la ligne "Fuite fortuite entre le coupleur et le microphone", les références "6.6; 7.3.2.1".

Supprimer, dans la colonne "Paragraphe concerné", à la ligne "Tension de polarisation", la référence "6.5.3".

Remplacer, dans la colonne "Paragraphe concerné", à la ligne "Correction de pression statique", la référence "6.5" par "6.5.1".

Remplacer, dans la colonne "Paragraphe concerné", à la ligne "Corrections de température", la référence "6.5" par "6.5.2".

A.1 Généralités

Ajouter, avant le dernier alinéa existant, le nouvel alinéa suivant:

Pour les coupleurs en ondes planes, il peut être démontré que la correction de solution basse fréquence, lorsqu'elle est appliquée à l'aire de la section droite du coupleur, est valide à des

fréquences auxquelles les variations de pression dues aux phénomènes de propagation sont modérées, voir [A.5]².

A.2 Solution basse fréquence

Remplacer le texte existant par le nouveau texte suivant:

Aux basses fréquences, auxquelles la pression acoustique peut être par hypothèse la même en tous points du coupleur, l'effet de la conduction thermique peut être considéré comme un accroissement apparent du volume du coupleur exprimé par un facteur de correction complexe Δ_H à appliquer au volume géométrique du coupleur [A.4], V , dans l'Équation (3) ou à l'aire de section droite, S_0 , dans l'Équation (4) avec $\chi = 0 + j\omega c$.

Le facteur de correction est donné par:

$$\Delta_H = \kappa - (\kappa - 1)\underline{E}_p \quad (\text{A.1})$$

où $\underline{E}_p$ est une grandeur complexe issue de la solution fondamentale de l'équation de Fourier relative à la conduction thermique et qui dépend de la géométrie du coupleur. Pour les coupleurs cylindriques finis, la grandeur $\underline{E}_p$ est donnée par

$$\underline{E}_p = \sum_{m=0}^{+\infty} \sum_{n=1}^{+\infty} \left[\frac{8/\pi^2}{\left(m + \frac{1}{2}\right)^2 \lambda_n^2} \underline{F}_{m,n} \right] \quad (\text{A.2})$$

avec

$$\underline{F}_{m,n} = \left(1 + \frac{\lambda_n^2 R^2 + (m + 1/2)^2 \pi^2}{(1 + 2R)^2} \underline{X}_P^2 \right)^{-1}, \quad (\text{A.3})$$

et où

$R = J_0 / (2a)$ est le rapport de la longueur du coupleur à son diamètre;

a est le rayon du coupleur en mètres (m);

λ_n sont les racines de $J_0(\lambda_n) = 0$, voir [A.6], par exemple; $J_0()$ est la fonction cylindrique de Bessel de première espèce, d'ordre zéro;

$\underline{X}_P = A(1-j) / (V\sqrt{2})\sqrt{\alpha_t l \omega}$;

A est la surface totale de l'aire de la cavité (m²);

² Les chiffres entre crochets renvoient à l'Article A.4.

α_t est la diffusivité thermique du gaz à l'intérieur de la cavité en mètre carré par seconde ($\text{m}^2 \cdot \text{s}^{-1}$).

Les valeurs présentées de Δ_H pour des dimensions types de coupleurs sont données dans le Tableau A.1 en fonction de la fréquence et à des conditions ambiantes de référence. Les données peuvent être utilisées pour la validation du logiciel de calcul. Les valeurs qui sont données dans le tableau sont considérées comme exactes à 0,000 01 près. La grandeur E_p converge plus rapidement aux basses fréquences et pour des coupleurs de petites dimensions. Par exemple, le module de Δ_H est à 0,001 dB près des valeurs dans le Tableau A.1 quand il est calculé pour $(m,n) = (100,100)$ à 1 995,3 Hz pour le coupleur le plus grand et pour $(m,n) = (2,2)$ à 1,995 3 Hz pour le coupleur le plus petit mentionné dans le Tableau A.1.

Quand la grandeur Δ_H , telle qu'elle est calculée à partir de l'Équation (A.1), est appliquée à l'Équation (3), l'admittance de transfert calculée est par hypothèse valide à 0,003 dB près pour le module et à 0,01 degré près pour la phase à des fréquences où $\lambda > 10^2 \cdot \sqrt[3]{V}$. Quand Δ_H est appliquée à S_0 dans l'Équation (4) avec $\chi = 0 + j\omega c$, l'admittance de transfert calculée est par hypothèse valide à 0,003 dB et à 0,01° près à des fréquences où $\lambda > 25l_0$. Ceci correspond à la plage approximative de fréquences comprises entre 1 000 Hz et 3 450 Hz pour les coupleurs en ondes planes dont les dimensions se situent dans la plage indiquée dans le Tableau C.1.

Tableau A.1 – Valeurs pour Δ_H

Fréquence (Hz)	$a = 9,3 \text{ mm}$ $l_0 = 18,9 \text{ mm}$		$a = 9,3 \text{ mm}$ $l_0 = 11,4 \text{ mm}$		$a = 4,65 \text{ mm}$ $l_0 = 10,4 \text{ mm}$		$a = 4,65 \text{ mm}$ $l_0 = 5,7 \text{ mm}$	
	Re(Δ_H)	Im(Δ_H)	Re(Δ_H)	Im(Δ_H)	Re(Δ_H)	Im(Δ_H)	Re(Δ_H)	Im(Δ_H)
1,995 3	1,117 15	−0,091 65	1,141 80	−0,105 09	1,223 30	−0,134 20	1,278 08	−0,136 63
3,981 1	1,083 28	−0,070 22	1,101 15	−0,082 16	1,159 58	−0,113 26	1,198 79	−0,128 79
7,943 3	1,059 08	−0,052 43	1,071 82	−0,062 13	1,113 96	−0,089 93	1,142 13	−0,105 26
15,849	1,041 87	−0,038 50	1,050 92	−0,046 00	1,080 99	−0,068 69	1,101 39	−0,082 31
31,623	1,029 65	−0,027 95	1,036 08	−0,033 59	1,057 44	−0,051 19	1,071 99	−0,062 26
63,096	1,021 00	−0,020 14	1,025 55	−0,024 30	1,040 70	−0,037 54	1,051 04	−0,046 10
125,89	1,014 87	−0,014 44	1,018 09	−0,017 46	1,028 83	−0,027 23	1,036 16	−0,033 66
251,19	1,010 53	−0,010 31	1,012 81	−0,012 49	1,020 41	−0,019 61	1,025 61	−0,024 35
501,19	1,007 45	−0,007 34	1,009 07	−0,008 91	1,014 45	−0,014 05	1,018 14	−0,017 50
1 000,0	1,005 28	−0,005 22	1,006 42	−0,006 34	1,010 23	−0,010 03	1,012 84	−0,012 52
1 995,3	1,003 74	−0,003 71	1,004 55	−0,004 51	1,007 24	−0,007 14	1,009 09	−0,008 93
NOTE 1 Les valeurs données dans ce tableau ne sont valides que dans les conditions ambiantes de référence.								
NOTE 2 La valeur pour une fréquence nulle de Δ_H est κ .								

A.3 Solution large bande

Supprimer l'avant-dernier alinéa existant.

Remplacer le dernier alinéa existant par le nouvel alinéa suivant:

Lorsqu'elle est calculée avec l'Équation (4) à l'aide des Équations (A.4) à (A.6), l'admittance de transfert est par hypothèse valide à 0,003 dB et à 0,02° près à des fréquences où $\lambda < 16l_0a$ (le facteur 16 est un facteur empirique, exprimé en m^{-1}). Ceci correspond à la plage