



IEC 61094-2

Edition 2.1 2022-02  
CONSOLIDATED VERSION

# INTERNATIONAL STANDARD

# NORME INTERNATIONALE



---

**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 978-2-8322-4761-7

**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.**

# REDLINE VERSION

## VERSION REDLINE



**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**

## CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references .....	7
3 Terms and definitions .....	7
4 Reference environmental conditions .....	8
5 Principles of pressure calibration by reciprocity .....	8
5.1 General principles .....	8
5.1.1 General .....	8
5.1.2 General principles using three microphones .....	8
5.1.3 General principles using two microphones and an auxiliary sound source .....	8
5.2 Basic expressions .....	9
5.3 Insert voltage technique .....	10
5.4 Evaluation of the acoustic transfer impedance .....	10
5.5 Heat-conduction correction.....	12
5.6 Capillary tube correction.....	13
5.7 Final expressions for the pressure sensitivity .....	13
5.7.1 Method using three microphones .....	13
5.7.2 Method using two microphones and an auxiliary sound source .....	14
6 Factors influencing the pressure sensitivity of microphones.....	14
6.1 General .....	14
6.2 Polarizing voltage.....	14
6.3 Ground-shield reference configuration.....	14
6.4 Pressure distribution over the diaphragm .....	15
6.5 Dependence on environmental conditions .....	15
6.5.1 Static pressure .....	15
6.5.2 Temperature.....	15
6.5.3 Humidity .....	16
6.5.4 Transformation to reference environmental conditions .....	16
6.6 Influence of leakage .....	16
7 Calibration uncertainty components.....	16
7.1 General.....	16
7.2 Electrical transfer impedance .....	16
7.3 Acoustic transfer impedance .....	17
7.3.1 General .....	17
7.3.2 Coupler properties .....	17
7.3.3 Microphone parameters .....	18
7.4 Imperfection of theory.....	19
7.5 Uncertainty on pressure sensitivity level.....	19
Annex A (normative) Heat conduction and viscous losses in a closed cavity .....	22
A.1 General .....	22
A.2 Low frequency solution.....	22
A.3 Broad-band solution .....	25
A.4 Reference documents.....	26
Annex B (normative) Acoustic impedance of a capillary tube.....	27

B.1	General .....	27
B.2	Reference document .....	29
Annex C	(informative) Examples of cylindrical couplers for calibration of microphones .....	30
C.1	General .....	30
C.2	Plane-wave couplers .....	30
C.3	Large-volume couplers .....	32
C.4	Reference documents.....	34
Annex D	(informative) Environmental influence on the sensitivity of microphones .....	35
D.1	General .....	35
D.2	Basic relations.....	35
D.3	Dependence on static pressure .....	35
D.4	Dependence on temperature .....	36
D.5	Reference documents.....	37
Annex E	(informative) Methods for determining microphone parameters .....	38
E.1	General .....	38
E.2	Front cavity depth.....	38
E.3	Front cavity volume and equivalent volume .....	38
E.4	Acoustic impedance of the microphone .....	39
E.5	Reference documents.....	40
Annex F	(informative) Physical properties of humid air.....	41
F.1	General .....	41
F.2	Density of humid air .....	42
F.3	Speed of sound in air .....	42
F.4	Ratio of specific heats of air .....	43
F.5	Viscosity of air.....	43
F.6	Thermal diffusivity of air .....	43
F.7	Examples .....	43
F.8	Reference documents.....	46
Figure 1	– Equivalent circuit for evaluating the acoustic transfer impedance $Z_{a,12}$ .....	10
Figure 2	– Equivalent circuit for evaluating $Z'_{a,12}$ when coupler dimensions are small compared with wavelength.....	11
Figure 3	– Equivalent circuit for evaluating $Z'_{a,12}$ when plane wave transmission in the coupler can be assumed .....	11
Figure C.1	– Mechanical configuration of plane-wave couplers .....	31
Figure C.2	– Mechanical configuration of large-volume couplers .....	33
Figure D.1	– Examples of static pressure coefficient of LS1P and LS2P microphones relative to the low-frequency value as a function of relative frequency $f/f_0$ .....	36
Figure D.2	– General frequency dependence of that part of the temperature coefficient for LS1P and LS2P microphones caused by the variation in the impedance of the enclosed air .....	37
Table 1	– Uncertainty components .....	20
Table A.1	– <del>Values for <math>E_v</math></del> Values for $\Delta_H$ .....	25
Table B.1	– Real part of $Z_{a,C}$ in gigapascal-seconds per cubic metre (GPa·s/m <sup>3</sup> ) .....	28
Table B.2	– Imaginary part of $Z_{a,C}$ in gigapascal-seconds per cubic metre (GPa·s/m <sup>3</sup> ) .....	29
Table C.1	– Nominal dimensions for plane-wave couplers.....	32

Table C.2 – Nominal dimensions and tolerances for large-volume couplers ..... 33

Table C.3 – Experimentally determined wave-motion corrections for the air-filled large-volume coupler used with type LS1P microphones ..... 34

Table F.1 – Calculated values of the quantities in Clauses F.1 to F.5 for two sets of environmental conditions ..... 44

Table F.2 – Coefficients used in the equations for humid air properties..... 45

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

**ELECTROACOUSTICS –  
MEASUREMENT MICROPHONES –**

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

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

**This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.**

**IEC 61094-2 edition 2.1 contains the second edition (2009-02) [documents 29/671/FDIS and 29/676/RVD] and its amendment 1 (2022-02) [documents 29/1108/FDIS and 29/1112/RVD].**

**In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendment 1. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.**

International Standard IEC 61094-2 has been prepared by IEC technical committee 29: Electroacoustics.

This second edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- an update of Clause 6 to fulfil the requirements of ISO/IEC Guide 98-3;
- an improvement of the heat conduction theory in Annex A;
- a revision of Annex F: Physical properties of humid air.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of the IEC 61094 series, published under the general title *Electroacoustics – Measurement microphones*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendment will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under [webstore.iec.ch](http://webstore.iec.ch) in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

**IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.**

## **ELECTROACOUSTICS – MEASUREMENT MICROPHONES –**

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

#### **1 Scope**

This part of International Standard IEC 61094

- is applicable to laboratory standard microphones meeting the requirements of IEC 61094-1 and other types of condenser microphone having the same mechanical dimensions;
- specifies a primary method of determining the complex pressure sensitivity so as to establish a reproducible and accurate basis for the measurement of sound pressure.

All quantities are expressed in SI units.

#### **2 Normative references**

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 61094-1:2000, *Measurement microphones – Part 1: Specifications for laboratory standard microphones*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> ISO/IEC Guide 98-3:2008 is published as a reissue of the Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM), 1995.



## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	51
1 Domaine d'application .....	53
2 Références normatives .....	53
3 Termes et définitions .....	53
4 Conditions ambiantes de référence.....	54
5 Principes de l'étalonnage en pression par réciprocité .....	54
5.1 Principe général .....	54
5.1.1 Généralités.....	54
5.1.2 Principes généraux de la méthode utilisant trois microphones .....	54
5.1.3 Principes généraux de la méthode utilisant deux microphones et une source sonore auxiliaire.....	54
5.2 Expressions de base .....	55
5.3 Technique de la tension insérée .....	56
5.4 Evaluation de l'impédance acoustique de transfert .....	56
5.5 Correction de conduction thermique .....	58
5.6 Correction de tube capillaire.....	59
5.7 Expressions finales de l'efficacité en pression.....	59
5.7.1 Méthode utilisant trois microphones.....	59
5.7.2 Méthode utilisant deux microphones et une source sonore auxiliaire .....	60
6 Grandeurs d'influence sur l'efficacité en pression .....	60
6.1 Généralités.....	60
6.2 Tension de polarisation .....	60
6.3 Configuration de référence du blindage .....	61
6.4 Distribution de la pression sur la membrane .....	61
6.5 Influence des conditions d'environnement .....	62
6.5.1 Pression statique.....	62
6.5.2 Température.....	62
6.5.3 Humidité.....	62
6.5.4 Migration vers les conditions ambiantes de référence.....	62
6.6 Influence des fuites .....	62
7 Composantes d'incertitude d'étalonnage .....	63
7.1 Généralités.....	63
7.2 Impédance électrique de transfert .....	63
7.3 Impédance acoustique de transfert.....	63
7.3.1 Généralités.....	63
7.3.2 Propriétés des coupleurs .....	63
7.3.3 Paramètres des microphones .....	64
7.4 Imperfection de la théorie.....	66
7.5 Incertitude sur le niveau d'efficacité en pression .....	66
Annexe A (normative) Conduction thermique et pertes par viscosité dans une cavité close.....	68
A.1 Généralités.....	68
A.2 Solution basse fréquence .....	68
A.3 Solution large bande .....	71
A.4 Documents de référence .....	72
Annexe B (normative) Impédance acoustique d'un tube capillaire .....	74

B.1	Généralités.....	74
B.2	Document de référence .....	76
Annexe C (informative)	Exemples de coupleurs cylindriques pour l'étalonnage des microphones .....	77
C.1	Généralités.....	77
C.2	Coupleurs en ondes planes .....	77
C.3	Coupleurs de grands volumes .....	79
C.4	Documents de référence .....	81
Annexe D (informative)	Influence de l'environnement sur l'efficacité des microphones.....	82
D.1	Généralités.....	82
D.2	Relations de base .....	82
D.3	Influence de la pression statique .....	82
D.4	Influence de la température .....	83
D.5	Documents de référence .....	84
Annexe E (informative)	Méthodes de détermination des paramètres des microphones.....	85
E.1	Généralités.....	85
E.2	Profondeur de la cavité frontale.....	85
E.3	Volume de la cavité frontale et volume équivalent .....	85
E.4	Impédance acoustique du microphone.....	86
E.5	Documents de référence .....	87
Annexe F (informative)	Propriétés physiques de l'air humide .....	88
F.1	Généralités.....	88
F.2	Masse volumique de l'air humide.....	89
F.3	Célérité du son dans l'air.....	89
F.4	Rapport des capacités thermiques massiques de l'air.....	90
F.5	Viscosité de l'air .....	90
F.6	Diffusivité thermique de l'air .....	90
F.7	Exemples .....	91
F.8	Documents de référence .....	93
Figure 1	– Circuit équivalent pour évaluer l'impédance acoustique de transfert $Z_{a,12}$ .....	56
Figure 2	– Circuit équivalent pour évaluer $Z'_{a,12}$ quand les dimensions du coupleur sont petites par rapport à la longueur d'onde .....	57
Figure 3	– Circuit équivalent pour évaluer $Z''_{a,12}$ quand on suppose une transmission en ondes planes dans le coupleur .....	57
Figure C.1	– Configuration mécanique des coupleurs en ondes planes .....	78
Figure C.2	– Configuration mécanique des coupleurs de grands volumes .....	80
Figure D.1	– Exemples de variation du coefficient de pression statique des microphones de type LS1P et LS2P par rapport à la valeur en basse fréquence en fonction de la fréquence relative $f/f_0$ .....	83
Figure D.2	– Variation générale, en fonction de la fréquence, de la composante du coefficient de température provoquée par les variations de l'impédance acoustique de l'air enfermé dans la cavité arrière, pour les microphones LS1P et LS2P .....	84
Tableau 1	– Composantes d'incertitude .....	66
Tableau A.1	– <del>Valeurs pour <math>E_v</math></del> Valeurs pour $\underline{\Delta}_H$ .....	71
Tableau B.1	– Partie réelle de $Z_{a,C}$ en gigapascal-seconde par mètre cube (GPa·s/m <sup>3</sup> ).....	75

Tableau B.2 – Partie imaginaire de $Z_{a, C}$ en gigapascal-seconde par mètre cube (GPa·s/m <sup>3</sup> ).....	76
Tableau C.1 – Dimensions nominales pour les coupleurs en ondes planes .....	79
Tableau C.2 – Dimensions nominales et tolérances pour les coupleurs de grands volumes .....	80
Tableau C.3 – Corrections de propagation déterminées expérimentalement pour le coupleur de grand volume rempli d'air utilisé avec les microphones de type LS1P .....	81
Tableau F.1 – Valeurs calculées des grandeurs mentionnées dans les Articles F.1 à F.5 pour deux ensembles de conditions environnementales .....	91
Tableau F.2 – Coefficients utilisés dans les équations pour les propriétés de l'air humide.....	92

## 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 réciprocité

#### 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. À 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 ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

**Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de son amendement a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.**

**L'IEC 61094-2 édition 2.1 contient la deuxième édition (2009-02) [documents 29/671/FDIS et 29/676/RVD] et son amendement 1 (2022-02) [documents 29/1108/FDIS et 29/1112/RVD].**

**Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par l'amendement 1. Les ajouts sont en vert, les suppressions sont en rouge, barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.**

La Norme Internationale IEC 61094-2 a été préparée par le comité d'étude 29 de l'IEC: Electroacoustique.

Cette deuxième édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- une mise à jour de l'Article 6 afin d'être en conformité avec les exigences du Guide ISO/IEC 98-3;
- une amélioration de la théorie de la conduction thermique en Annexe A;
- une révision de l'Annexe F: Propriétés physiques de l'air humide.

Cette publication a été rédigée selon les Directives de l'ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61094, présentées sous le titre général *Electroacoustique – Microphones de mesure* peut être consultée sur le site Web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous [webstore.iec.ch](http://webstore.iec.ch) dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

**IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.**

## ÉLECTROACOUSTIQUE – MICROPHONES DE MESURE –

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

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la Norme internationale IEC 61094

- est applicable aux microphones étalons de laboratoire répondant aux prescriptions de l'IEC 61094-1 et aux autres types de microphones à condensateur présentant les mêmes dimensions mécaniques;
- spécifie une méthode primaire de détermination de l'efficacité en pression complexe de manière à établir une base reproductible et exacte pour la mesure de la pression acoustique.

Toutes les grandeurs sont exprimées en unités SI.

#### 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 61094-1:2000 *Microphones de mesure – Partie 1: Spécifications des microphones étalons de laboratoire*

Guide ISO/IEC 98-3, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Le Guide ISO/IEC 98-3:2008 est publié en tant que nouvelle édition du Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM), 1995.

# FINAL VERSION

# VERSION FINALE

---

**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**



## CONTENTS

FOREWORD.....	5
1 Scope.....	7
2 Normative references .....	7
3 Terms and definitions .....	7
4 Reference environmental conditions .....	8
5 Principles of pressure calibration by reciprocity .....	8
5.1 General principles .....	8
5.1.1 General .....	8
5.1.2 General principles using three microphones .....	8
5.1.3 General principles using two microphones and an auxiliary sound source .....	8
5.2 Basic expressions .....	9
5.3 Insert voltage technique .....	10
5.4 Evaluation of the acoustic transfer impedance .....	10
5.5 Heat-conduction correction.....	12
5.6 Capillary tube correction.....	13
5.7 Final expressions for the pressure sensitivity .....	13
5.7.1 Method using three microphones .....	13
5.7.2 Method using two microphones and an auxiliary sound source .....	14
6 Factors influencing the pressure sensitivity of microphones.....	14
6.1 General .....	14
6.2 Polarizing voltage.....	14
6.3 Ground-shield reference configuration.....	14
6.4 Pressure distribution over the diaphragm .....	15
6.5 Dependence on environmental conditions .....	15
6.5.1 Static pressure .....	15
6.5.2 Temperature.....	15
6.5.3 Humidity .....	16
6.5.4 Transformation to reference environmental conditions .....	16
6.6 Influence of leakage .....	16
7 Calibration uncertainty components.....	16
7.1 General .....	16
7.2 Electrical transfer impedance .....	16
7.3 Acoustic transfer impedance .....	17
7.3.1 General .....	17
7.3.2 Coupler properties .....	17
7.3.3 Microphone parameters .....	18
7.4 Imperfection of theory.....	19
7.5 Uncertainty on pressure sensitivity level.....	19
Annex A (normative) Heat conduction and viscous losses in a closed cavity .....	21
A.1 General .....	21
A.2 Low frequency solution.....	21
A.3 Broad-band solution .....	23
A.4 Reference documents.....	23
Annex B (normative) Acoustic impedance of a capillary tube.....	25



B.1	General .....	25
B.2	Reference document .....	27
Annex C (informative)	Examples of cylindrical couplers for calibration of microphones .....	28
C.1	General .....	28
C.2	Plane-wave couplers .....	28
C.3	Large-volume couplers .....	30
C.4	Reference documents.....	32
Annex D (informative)	Environmental influence on the sensitivity of microphones .....	33
D.1	General .....	33
D.2	Basic relations.....	33
D.3	Dependence on static pressure .....	33
D.4	Dependence on temperature .....	34
D.5	Reference documents.....	35
Annex E (informative)	Methods for determining microphone parameters .....	36
E.1	General .....	36
E.2	Front cavity depth.....	36
E.3	Front cavity volume and equivalent volume .....	36
E.4	Acoustic impedance of the microphone .....	37
E.5	Reference documents.....	38
Annex F (informative)	Physical properties of humid air.....	39
F.1	General .....	39
F.2	Density of humid air .....	40
F.3	Speed of sound in air .....	40
F.4	Ratio of specific heats of air .....	41
F.5	Viscosity of air.....	41
F.6	Thermal diffusivity of air .....	41
F.7	Examples .....	41
F.8	Reference documents.....	44
Figure 1	– Equivalent circuit for evaluating the acoustic transfer impedance $Z_{a,12}$ .....	10
Figure 2	– Equivalent circuit for evaluating $Z'_{a,12}$ when coupler dimensions are small compared with wavelength.....	11
Figure 3	– Equivalent circuit for evaluating $Z'_{a,12}$ when plane wave transmission in the coupler can be assumed .....	11
Figure C.1	– Mechanical configuration of plane-wave couplers .....	29
Figure C.2	– Mechanical configuration of large-volume couplers .....	31
Figure D.1	– Examples of static pressure coefficient of LS1P and LS2P microphones relative to the low-frequency value as a function of relative frequency $f/f_0$ .....	34
Figure D.2	– General frequency dependence of that part of the temperature coefficient for LS1P and LS2P microphones caused by the variation in the impedance of the enclosed air .....	35
Table 1	– Uncertainty components .....	20
Table A.1	– Values for $\Delta_H$ .....	22
Table B.1	– Real part of $Z_{a,C}$ in gigapascal-seconds per cubic metre (GPa·s/m <sup>3</sup> ) .....	26
Table B.2	– Imaginary part of $Z_{a,C}$ in gigapascal-seconds per cubic metre (GPa·s/m <sup>3</sup> ) .....	27
Table C.1	– Nominal dimensions for plane-wave couplers.....	30

Table C.2 – Nominal dimensions and tolerances for large-volume couplers ..... 31

Table C.3 – Experimentally determined wave-motion corrections for the air-filled large-volume coupler used with type LS1P microphones ..... 32

Table F.1 – Calculated values of the quantities in Clauses F.1 to F.5 for two sets of environmental conditions ..... 42

Table F.2 – Coefficients used in the equations for humid air properties..... 43

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

**ELECTROACOUSTICS –  
MEASUREMENT MICROPHONES –**

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

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

**This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.**

**IEC 61094-2 edition 2.1 contains the second edition (2009-02) [documents 29/671/FDIS and 29/676/RVD] and its amendment 1 (2022-02) [documents 29/1108/FDIS and 29/1112/RVD].**

**This Final version does not show where the technical content is modified by amendment 1. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.**

International Standard IEC 61094-2 has been prepared by IEC technical committee 29: Electroacoustics.

This second edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- an update of Clause 6 to fulfil the requirements of ISO/IEC Guide 98-3;
- an improvement of the heat conduction theory in Annex A;
- a revision of Annex F: Physical properties of humid air.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of the IEC 61094 series, published under the general title *Electroacoustics – Measurement microphones*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendment will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under [webstore.iec.ch](http://webstore.iec.ch) in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

## **ELECTROACOUSTICS – MEASUREMENT MICROPHONES –**

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

#### **1 Scope**

This part of International Standard IEC 61094

- is applicable to laboratory standard microphones meeting the requirements of IEC 61094-1 and other types of condenser microphone having the same mechanical dimensions;
- specifies a primary method of determining the complex pressure sensitivity so as to establish a reproducible and accurate basis for the measurement of sound pressure.

All quantities are expressed in SI units.

#### **2 Normative references**

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 61094-1:2000, *Measurement microphones – Part 1: Specifications for laboratory standard microphones*

ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> ISO/IEC Guide 98-3:2008 is published as a reissue of the Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM), 1995.

## SOMMAIRE

AVANT-PROPOS .....	49
1 Domaine d'application .....	51
2 Références normatives .....	51
3 Termes et définitions .....	51
4 Conditions ambiantes de référence.....	52
5 Principes de l'étalonnage en pression par réciprocité .....	52
5.1 Principe général .....	52
5.1.1 Généralités.....	52
5.1.2 Principes généraux de la méthode utilisant trois microphones .....	52
5.1.3 Principes généraux de la méthode utilisant deux microphones et une source sonore auxiliaire.....	52
5.2 Expressions de base .....	53
5.3 Technique de la tension insérée .....	54
5.4 Evaluation de l'impédance acoustique de transfert .....	54
5.5 Correction de conduction thermique .....	56
5.6 Correction de tube capillaire.....	57
5.7 Expressions finales de l'efficacité en pression.....	57
5.7.1 Méthode utilisant trois microphones.....	57
5.7.2 Méthode utilisant deux microphones et une source sonore auxiliaire .....	58
6 Grandeurs d'influence sur l'efficacité en pression .....	58
6.1 Généralités.....	58
6.2 Tension de polarisation .....	58
6.3 Configuration de référence du blindage .....	59
6.4 Distribution de la pression sur la membrane .....	59
6.5 Influence des conditions d'environnement .....	60
6.5.1 Pression statique.....	60
6.5.2 Température.....	60
6.5.3 Humidité.....	60
6.5.4 Migration vers les conditions ambiantes de référence.....	60
6.6 Influence des fuites .....	60
7 Composantes d'incertitude d'étalonnage .....	61
7.1 Généralités.....	61
7.2 Impédance électrique de transfert .....	61
7.3 Impédance acoustique de transfert.....	61
7.3.1 Généralités.....	61
7.3.2 Propriétés des coupleurs .....	61
7.3.3 Paramètres des microphones .....	62
7.4 Imperfection de la théorie.....	63
7.5 Incertitude sur le niveau d'efficacité en pression .....	64
Annexe A (normative) Conduction thermique et pertes par viscosité dans une cavité close.....	66
A.1 Généralités.....	66
A.2 Solution basse fréquence .....	66
A.3 Solution large bande .....	68
A.4 Documents de référence .....	69
Annexe B (normative) Impédance acoustique d'un tube capillaire .....	70

B.1	Généralités.....	70
B.2	Document de référence .....	72
Annexe C (informative)	Exemples de coupleurs cylindriques pour l'étalonnage des microphones .....	73
C.1	Généralités.....	73
C.2	Coupleurs en ondes planes .....	73
C.3	Coupleurs de grands volumes .....	75
C.4	Documents de référence .....	77
Annexe D (informative)	Influence de l'environnement sur l'efficacité des microphones.....	78
D.1	Généralités.....	78
D.2	Relations de base .....	78
D.3	Influence de la pression statique .....	78
D.4	Influence de la température .....	79
D.5	Documents de référence .....	80
Annexe E (informative)	Méthodes de détermination des paramètres des microphones.....	81
E.1	Généralités.....	81
E.2	Profondeur de la cavité frontale.....	81
E.3	Volume de la cavité frontale et volume équivalent .....	81
E.4	Impédance acoustique du microphone.....	82
E.5	Documents de référence .....	83
Annexe F (informative)	Propriétés physiques de l'air humide .....	84
F.1	Généralités.....	84
F.2	Masse volumique de l'air humide.....	85
F.3	Célérité du son dans l'air.....	85
F.4	Rapport des capacités thermiques massiques de l'air.....	86
F.5	Viscosité de l'air .....	86
F.6	Diffusivité thermique de l'air .....	86
F.7	Exemples .....	87
F.8	Documents de référence .....	89
Figure 1	– Circuit équivalent pour évaluer l'impédance acoustique de transfert $Z_{a,12}$ .....	54
Figure 2	– Circuit équivalent pour évaluer $Z'_{a,12}$ quand les dimensions du coupleur sont petites par rapport à la longueur d'onde .....	55
Figure 3	– Circuit équivalent pour évaluer $Z'_{a,12}$ quand on suppose une transmission en ondes planes dans le coupleur .....	55
Figure C.1	– Configuration mécanique des coupleurs en ondes planes .....	74
Figure C.2	– Configuration mécanique des coupleurs de grands volumes .....	76
Figure D.1	– Exemples de variation du coefficient de pression statique des microphones de type LS1P et LS2P par rapport à la valeur en basse fréquence en fonction de la fréquence relative $f/f_0$ .....	79
Figure D.2	– Variation générale, en fonction de la fréquence, de la composante du coefficient de température provoquée par les variations de l'impédance acoustique de l'air enfermé dans la cavité arrière, pour les microphones LS1P et LS2P .....	80
Tableau 1	– Composantes d'incertitude .....	64
Tableau A.1	– Valeurs pour $\Delta_H$ .....	67
Tableau B.1	– Partie réelle de $Z_{a,C}$ en gigapascal-seconde par mètre cube (GPa·s/m <sup>3</sup> ).....	71

Tableau B.2 – Partie imaginaire de $Z_{a, C}$ en gigapascal-seconde par mètre cube (GPa·s/m <sup>3</sup> ).....	72
Tableau C.1 – Dimensions nominales pour les coupleurs en ondes planes .....	75
Tableau C.2 – Dimensions nominales et tolérances pour les coupleurs de grands volumes .....	76
Tableau C.3 – Corrections de propagation déterminées expérimentalement pour le coupleur de grand volume rempli d'air utilisé avec les microphones de type LS1P .....	77
Tableau F.1 – Valeurs calculées des grandeurs mentionnées dans les Articles F.1 à F.5 pour deux ensembles de conditions environnementales .....	87
Tableau F.2 – Coefficients utilisés dans les équations pour les propriétés de l'air humide.....	88



## 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 réciprocité

#### 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. À 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 ne pas avoir identifié de tels droits de brevets.

**Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de son amendement a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.**

**L'IEC 61094-2 édition 2.1 contient la deuxième édition (2009-02) [documents 29/671/FDIS et 29/676/RVD] et son amendement 1 (2022-02) [documents 29/1108/FDIS et 29/1112/RVD].**

**Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par l'amendement 1. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.**

La Norme Internationale IEC 61094-2 a été préparée par le comité d'étude 29 de l'IEC: Electroacoustique.

Cette deuxième édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- une mise à jour de l'Article 6 afin d'être en conformité avec les exigences du Guide ISO/IEC 98-3;
- une amélioration de la théorie de la conduction thermique en Annexe A;
- une révision de l'Annexe F: Propriétés physiques de l'air humide.

Cette publication a été rédigée selon les Directives de l'ISO/IEC, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61094, présentées sous le titre général *Electroacoustique – Microphones de mesure* peut être consultée sur le site Web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous [webstore.iec.ch](http://webstore.iec.ch) dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

## ÉLECTROACOUSTIQUE – MICROPHONES DE MESURE –

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

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la Norme internationale IEC 61094

- est applicable aux microphones étalons de laboratoire répondant aux prescriptions de l'IEC 61094-1 et aux autres types de microphones à condensateur présentant les mêmes dimensions mécaniques;
- spécifie une méthode primaire de détermination de l'efficacité en pression complexe de manière à établir une base reproductible et exacte pour la mesure de la pression acoustique.

Toutes les grandeurs sont exprimées en unités SI.

#### 2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 61094-1:2000 *Microphones de mesure – Partie 1: Spécifications des microphones étalons de laboratoire*

Guide ISO/IEC 98-3, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> Le Guide ISO/IEC 98-3:2008 est publié en tant que nouvelle édition du Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM), 1995.