IEC 61094-2

Edition 2.1 2022-02
CONSOLIDATED VERSION

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

colour inside

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 978-2-8322-1078-3

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.

® Registered trademark of the International Electrotechnical Commission
Marque déposée de la Commission Electrotechnique Internationale

IEC 61094-2

Edition 2.1 2022-02
CONSOLIDATED VERSION

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE

colour inside

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



IEC 61094-2:2009-02+AMD1:2022-02 CSV(en-fr)

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 – ~~Values for E_V~~ Values for Δ_H 25
Table B.1 – Real part of $Z_{a,C}$ in gigapascal-seconds per cubic metre (GPa·s/m^3) 28
Table B.2 – Imaginary part of $Z_{a,C}$ in gigapascal-seconds per cubic metre (GPa·s/m^3) 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 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)*[1]

[1] 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 – ~~Valeurs pour E_V~~ Valeurs pour Δ_H 71
Tableau B.1 – Partie réelle de $Z_{a,C}$ en gigapascal-seconde par mètre cube (GPa·s/m^3) 75

Tableau B.2 – Partie imaginaire de $Z_{a,\,C}$ en gigapascal-seconde par mètre cube (GPa·s/m^3) 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 modification 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 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)*[1]

[1] 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.

IEC 61094-2

Edition 2.1 2022-02
CONSOLIDATED VERSION

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



IEC 61094-2:2009-02+AMD1:2022-02 CSV(en-fr)

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 Δ_H 22
Table B.1 – Real part of $Z_{a,C}$ in gigapascal-seconds per cubic metre (GPa·s/m^3) 26
Table B.2 – Imaginary part of $Z_{a,C}$ in gigapascal-seconds per cubic metre (GPa·s/m^3) 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 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)*[1]

[1] 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_o 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 Δ_H 67
Tableau B.1 – Partie réelle de $Z_{a,C}$ en gigapascal-seconde par mètre cube (GPa·s/m^3) 71

Tableau B.2 – Partie imaginaire de $Z_{a,\,C}$ en gigapascal-seconde par mètre cube (GPa·s/m^3) 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 modification 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 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)*[1]

[1] 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.