

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**61094-6**

Première édition  
First edition  
2004-11

---

---

**Microphones de mesure –**

**Partie 6:  
Grilles d'entraînement pour la détermination  
de la réponse en fréquence**

**Measurement microphones –**

**Part 6:  
Electrostatic actuators for determination  
of frequency response**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 61094-6:2004

## Numérotation des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000. Ainsi, la CEI 34-1 devient la CEI 60034-1.

## Editions consolidées

Les versions consolidées de certaines publications de la CEI incorporant les amendements sont disponibles. Par exemple, les numéros d'édition 1.0, 1.1 et 1.2 indiquent respectivement la publication de base, la publication de base incorporant l'amendement 1, et la publication de base incorporant les amendements 1 et 2.

## Informations supplémentaires sur les publications de la CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu par la CEI afin qu'il reflète l'état actuel de la technique. Des renseignements relatifs à cette publication, y compris sa validité, sont disponibles dans le Catalogue des publications de la CEI (voir ci-dessous) en plus des nouvelles éditions, amendements et corrigenda. Des informations sur les sujets à l'étude et l'avancement des travaux entrepris par le comité d'études qui a élaboré cette publication, ainsi que la liste des publications parues, sont également disponibles par l'intermédiaire de:

- **Site web de la CEI** ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- **Catalogue des publications de la CEI**

Le catalogue en ligne sur le site web de la CEI ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) vous permet de faire des recherches en utilisant de nombreux critères, comprenant des recherches textuelles, par comité d'études ou date de publication. Des informations en ligne sont également disponibles sur les nouvelles publications, les publications remplacées ou retirées, ainsi que sur les corrigenda.

- **IEC Just Published**

Ce résumé des dernières publications parues ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) est aussi disponible par courrier électronique. Veuillez prendre contact avec le Service client (voir ci-dessous) pour plus d'informations.

- **Service clients**

Si vous avez des questions au sujet de cette publication ou avez besoin de renseignements supplémentaires, prenez contact avec le Service clients:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tél: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

## Publication numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series. For example, IEC 34-1 is now referred to as IEC 60034-1.

## Consolidated editions

The IEC is now publishing consolidated versions of its publications. For example, edition numbers 1.0, 1.1 and 1.2 refer, respectively, to the base publication, the base publication incorporating amendment 1 and the base publication incorporating amendments 1 and 2.

## Further information on IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC, thus ensuring that the content reflects current technology. Information relating to this publication, including its validity, is available in the IEC Catalogue of publications (see below) in addition to new editions, amendments and corrigenda. Information on the subjects under consideration and work in progress undertaken by the technical committee which has prepared this publication, as well as the list of publications issued, is also available from the following:

- **IEC Web Site** ([www.iec.ch](http://www.iec.ch))
- **Catalogue of IEC publications**

The on-line catalogue on the IEC web site ([www.iec.ch/searchpub](http://www.iec.ch/searchpub)) enables you to search by a variety of criteria including text searches, technical committees and date of publication. On-line information is also available on recently issued publications, withdrawn and replaced publications, as well as corrigenda.

- **IEC Just Published**

This summary of recently issued publications ([www.iec.ch/online\\_news/justpub](http://www.iec.ch/online_news/justpub)) is also available by email. Please contact the Customer Service Centre (see below) for further information.

- **Customer Service Centre**

If you have any questions regarding this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre:

Email: [custserv@iec.ch](mailto:custserv@iec.ch)  
Tel: +41 22 919 02 11  
Fax: +41 22 919 03 00

**NORME  
INTERNATIONALE  
INTERNATIONAL  
STANDARD**

**CEI  
IEC**

**61094-6**

Première édition  
First edition  
2004-11

---

---

**Microphones de mesure –**

**Partie 6:  
Grilles d'entraînement pour la détermination  
de la réponse en fréquence**

**Measurement microphones –**

**Part 6:  
Electrostatic actuators for determination  
of frequency response**

© IEC 2004 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'éditeur.

No part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from the publisher.

International Electrotechnical Commission, 3, rue de Varembé, PO Box 131, CH-1211 Geneva 20, Switzerland  
Telephone: +41 22 919 02 11 Telefax: +41 22 919 03 00 E-mail: inmail@iec.ch Web: www.iec.ch



Commission Electrotechnique Internationale  
International Electrotechnical Commission  
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX  
PRICE CODE

**U**

Pour prix, voir catalogue en vigueur  
For price, see current catalogue

## SOMMAIRE

|                                                                                                                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                                                                                      | 6  |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                                                                           | 10 |
| 2 Références normatives .....                                                                                                                                           | 10 |
| 3 Termes et définitions .....                                                                                                                                           | 12 |
| 4 Conditions ambiantes de référence .....                                                                                                                               | 12 |
| 5 Principe de fonctionnement de la grille d'entraînement .....                                                                                                          | 12 |
| 5.1 Généralités .....                                                                                                                                                   | 12 |
| 5.2 Pression électrostatique .....                                                                                                                                      | 14 |
| 5.3 Réponse à la grille d'entraînement .....                                                                                                                            | 20 |
| 6 Réalisation de la grille d'entraînement .....                                                                                                                         | 22 |
| 6.1 Généralités .....                                                                                                                                                   | 22 |
| 6.2 Réalisation .....                                                                                                                                                   | 22 |
| 7 Validation .....                                                                                                                                                      | 24 |
| 7.1 Généralités .....                                                                                                                                                   | 24 |
| 7.2 Répétabilité des mesurages .....                                                                                                                                    | 24 |
| 7.3 Uniformité des grilles d'un modèle donné .....                                                                                                                      | 24 |
| 7.4 Uniformité de la différence entre la réponse à la grille et la réponse en pression .....                                                                            | 24 |
| 8 Mesure de la réponse à la grille d'entraînement .....                                                                                                                 | 26 |
| 8.1 Système de mesure de la réponse à la grille d'entraînement .....                                                                                                    | 26 |
| 8.2 Composantes d'incertitude .....                                                                                                                                     | 28 |
| 9 Applications de la grille d'entraînement .....                                                                                                                        | 32 |
| 9.1 Généralité .....                                                                                                                                                    | 32 |
| 9.2 Vérification de la réponse en fréquence d'un système de mesure .....                                                                                                | 32 |
| 9.3 Détermination des caractéristiques des systèmes de mesure des microphones en fonction de l'environnement .....                                                      | 32 |
| 9.4 Détermination des réponses en fréquence en champ libre et en pression .....                                                                                         | 34 |
| 9.5 Mesure de la réponse à la grille aux fréquences très élevées .....                                                                                                  | 34 |
| Annexe A (informative) Exemples de réalisations de grilles d'entraînement .....                                                                                         | 36 |
| Annexe B (informative) Dispositif de mesure pour la réponse à la grille d'entraînement .....                                                                            | 42 |
| Annexe C (informative) Analyse typique des incertitudes .....                                                                                                           | 44 |
| Annexe D (informative) Différence entre les réponses en champ libre, en pression et à la grille d'entraînement pour des modèles typiques de microphones de mesure ..... | 50 |
| Figure 1 – Principe du microphone et de la grille d'entraînement .....                                                                                                  | 16 |
| Figure 2 – Modèle à constantes localisées d'un microphone de mesure excité par une grille d'entraînement .....                                                          | 20 |
| Figure A.1 – Exemple de grille d'entraînement pour les microphones de type WS1 .....                                                                                    | 36 |
| Figure A.2 – Exemple de grille d'entraînement pour les microphones de type WS2 .....                                                                                    | 38 |
| Figure A.3 – Exemples de grilles d'entraînement faisant partie intégrante des grilles de protection des microphones .....                                               | 40 |
| Figure A.4 – Exemple de grille d'entraînement combinée à une grille de protection contre la pluie .....                                                                 | 40 |

## CONTENTS

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                                                                              | 7  |
| 1 Scope.....                                                                                                                               | 11 |
| 2 Normative references .....                                                                                                               | 11 |
| 3 Terms and definitions .....                                                                                                              | 13 |
| 4 Reference environmental conditions .....                                                                                                 | 13 |
| 5 Principle of electrostatic actuator operation .....                                                                                      | 13 |
| 5.1 General .....                                                                                                                          | 13 |
| 5.2 Electrostatic pressure.....                                                                                                            | 15 |
| 5.3 Electrostatic actuator response .....                                                                                                  | 21 |
| 6 Actuator design .....                                                                                                                    | 23 |
| 6.1 General .....                                                                                                                          | 23 |
| 6.2 Design.....                                                                                                                            | 23 |
| 7 Validation .....                                                                                                                         | 25 |
| 7.1 General .....                                                                                                                          | 25 |
| 7.2 Repeatability of measurements .....                                                                                                    | 25 |
| 7.3 Uniformity of actuators of a given model.....                                                                                          | 25 |
| 7.4 Uniformity of the difference between actuator and pressure response levels .....                                                       | 25 |
| 8 Measurement of electrostatic actuator response.....                                                                                      | 27 |
| 8.1 System for measurement of electrostatic actuator response .....                                                                        | 27 |
| 8.2 Uncertainty components .....                                                                                                           | 29 |
| 9 Applications of an electrostatic actuator.....                                                                                           | 33 |
| 9.1 General .....                                                                                                                          | 33 |
| 9.2 Verification of the frequency response of a measurement system.....                                                                    | 33 |
| 9.3 Determination of the environmental characteristics of microphone measurement systems.....                                              | 33 |
| 9.4 Determination of free-field and pressure frequency responses.....                                                                      | 35 |
| 9.5 Measurement of actuator response at very high frequencies .....                                                                        | 35 |
| Annex A (informative) Examples of electrostatic actuator designs .....                                                                     | 37 |
| Annex B (informative) Set-up for measuring electrostatic actuator response .....                                                           | 43 |
| Annex C (informative) Typical uncertainty analysis .....                                                                                   | 45 |
| Annex D (informative) Difference between free-field-, pressure- and actuator responses for typical models of measurement microphones ..... | 51 |
| Figure 1 – Principle of microphone and electrostatic actuator .....                                                                        | 17 |
| Figure 2 – Lumped parameter model of a measurement microphone excited by an electrostatic actuator .....                                   | 21 |
| Figure A.1 – Example of electrostatic actuator for type WS1 microphones .....                                                              | 37 |
| Figure A.2 – Example of an electrostatic actuator for type WS2 microphones .....                                                           | 39 |
| Figure A.3 – Examples of electrostatic actuators forming integral parts of the microphone protection grids.....                            | 41 |
| Figure A.4 – Example of an electrostatic actuator combined with weather-resistant protection .....                                         | 41 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure B.1 – Dispositif typique destiné à mesurer la réponse en fréquence à la grille d'entraînement d'un microphone .....                                                                                                                                                                                                          | 42 |
| Figure D.1 – Exemples des différences entre les réponses en pression et les réponses à la grille d'entraînement pour quatre types différents de microphone de mesure: WS1P (a), WS1F (b) de niveau d'efficacité nominal égal à $-26$ dB re 1V/Pa, WS2P (c) et WS2F (d) de niveau d'efficacité nominal égal à $-38$ dB re 1V/P ..... | 50 |
| Figure D.2 – Exemples des différences entre les réponses en champ libre et les réponses à la grille d'entraînement pour les microphones de types WS1, WS2 et WS3 lorsqu'ils sont utilisés sans grille de protection.....                                                                                                            | 50 |
| Figure D.3 – Exemple de différence dépendant du modèle entre les réponses en champ libre et les réponses à la grille d'entraînement pour le microphone de type WS2 lorsqu'il est utilisé avec sa grille de protection .....                                                                                                         | 52 |
| Figure D.4 – Exemple de détermination de la réponse en fréquence en champ libre b) obtenue en additionnant la différence dépendant du modèle entre la réponse en champ libre et la réponse à la grille d'entraînement comme indiqué à la Figure D.3 et une réponse individuelle à la grille d'entraînement a) .....                 | 52 |
| Tableau C.1 – Incertitudes .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | 48 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure B.1 – Typical set-up for measuring the electrostatic actuator response of a microphone.....                                                                                                                                                                                      | 43 |
| Figure D.1 – Examples of differences between relative pressure and actuator frequency responses for four different type of measurement microphone: WS1P (a), WS1F (b) of nominal sensitivities –26 dB re 1V/Pa and WS2P (c) and WS2F (d) of nominal sensitivities –38 dB re 1V/Pa ..... | 51 |
| Figure D.2 – Examples of differences between relative free-field and actuator frequency responses for type WS1, WS2 and WS3 microphones when used without protection grids .....                                                                                                        | 51 |
| Figure D.3 – Example of model dependent difference between relative free field and actuator frequency responses for a type WS2 microphone when used with its protection grid.....                                                                                                       | 53 |
| Figure D.4 – Example on the determination of a relative free-field frequency response b) by adding the model dependent free-field to actuator difference as shown in Figure D.3 to the electrostatic actuator response of a microphone a) .....                                         | 53 |
| Table C.1 – Uncertainties .....                                                                                                                                                                                                                                                         | 49 |

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61094-6:2004

# COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

## MICROPHONES DE MESURE –

### Partie 6: Grilles d'entraînement pour la détermination de la réponse en fréquence

#### AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61094-6 a été établie par le comité d'études 29 de la CEI: Electroacoustique.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

| FDIS        | Rapport de vote |
|-------------|-----------------|
| 29/562/FDIS | 29/565/RVD      |

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

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



## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MEASUREMENT MICROPHONES –****Part 6: Electrostatic actuators for determination  
of frequency response**

## 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.

International Standard IEC 61094-6 has been prepared by IEC technical committee 29: Electroacoustics.

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

| FDIS        | Report on voting |
|-------------|------------------|
| 29/562/FDIS | 29/565/RVD       |

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

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

La CEI 61094 comprend les parties suivantes, présentées sous le titre général *Microphones de mesure*:

- Partie 1: Spécifications des microphones étalons de laboratoire
- Partie 2: Méthode primaire pour l'étalonnage en pression des microphones étalons de laboratoire par la méthode de réciprocité
- Partie 3: Méthode primaire pour l'étalonnage en champ libre des microphones étalons de laboratoire par la méthode de réciprocité
- Partie 4: Spécifications des microphones étalons de travail
- Partie 5: Méthodes pour l'étalonnage en pression par comparaison des microphones étalons de travail
- Partie 6: Grilles d'entraînement pour la détermination de la réponse en fréquence

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site web de la CEI sous «<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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61094-6:2004

IEC 61094 consists of the following parts, under the general title *Measurement microphones*:

- Part 1: Specifications for laboratory standard microphones
- Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique
- Part 3: Primary method for free-field calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique
- Part 4: Specifications for working standard microphones
- Part 5: Methods for pressure calibration of working standard microphones by comparison
- Part 6: Electrostatic actuators for determination of frequency response

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61094-6:2004

## MICROPHONES DE MESURE –

### Partie 6: Grilles d'entraînement pour la détermination de la réponse en fréquence

#### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61094

- donne les lignes directrices pour la réalisation de grilles d'entraînement destinées aux microphones possédant une membrane faite dans un matériau électriquement conducteur;
- donne des méthodes pour la validation des grilles d'entraînement;
- donne une méthode pour déterminer la réponse d'un microphone à la grille d'entraînement.

Les applications des grilles d'entraînement ne sont pas complètement décrites dans cette norme mais peuvent comprendre

- une technique pour détecter les variations de la réponse en fréquence d'un microphone,
- une technique pour déterminer l'influence des conditions ambiantes sur la réponse d'un microphone,
- une technique de détermination de la réponse en fréquence en champ libre ou en pression d'un microphone sans nécessiter un équipement acoustique spécifique, par application de valeurs de corrections prédéterminées spécifiques des modèles de grille d'entraînement et de microphone utilisés,
- une technique d'étalonnage applicable aux fréquences élevées non couvertes spécifiquement par des méthodes d'étalonnage utilisant une excitation acoustique.

#### 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, seule la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 61094-1, *Microphones de mesure – Partie 1: Spécifications des microphones étalons de laboratoire*

CEI 61094-2, *Microphones de mesure – Partie 2: Méthode primaire pour l'étalonnage en pression des microphones étalons de laboratoire par la méthode de réciprocité*

CEI 61094-3, *Microphones de mesure – Partie 3: Méthode primaire pour l'étalonnage en champ libre des microphones étalons de laboratoire par la méthode de réciprocité*

CEI 61094-5, *Microphones de mesure – Partie 5: Méthodes pour l'étalonnage en pression par comparaison des microphones étalons de travail*

GUIDE EXPRESS ISO/CEI:1995, *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM)*

## MEASUREMENT MICROPHONES –

### Part 6: Electrostatic actuators for determination of frequency response

#### 1 Scope

This part of IEC 61094

- gives guidelines for the design of actuators for microphones equipped with electrically conductive diaphragms;
- gives methods for the validation of electrostatic actuators;
- gives a method for determining the electrostatic actuator response of a microphone.

The applications of electrostatic actuators are not fully described within this standard but may include

- a technique for detecting changes in the frequency response of a microphone,
- a technique for determining the environmental influence on the response of a microphone,
- a technique for determining the free-field or pressure response of a microphone without specific acoustical test facilities, by the application of predetermined correction values specific to the microphone model and actuator used,
- a technique applicable at high frequencies not typically covered by calibration methods using sound excitation.

#### 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, *Measurement microphones – Part 1: Specifications for laboratory standard microphones*

IEC 61094-2, *Measurement microphones – Part 2: Primary method for pressure calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique*

IEC 61094-3, *Measurement microphones – Part 3: Primary method for free-field calibration of laboratory standard microphones by the reciprocity technique*

IEC 61094-5, *Measurement microphones – Part 5: Methods for pressure calibration of working standard microphones by comparison*

ISO/IEC GUIDE EXPRESS: 1995, *Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM)*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 61094-1 s'appliquent avec les suivants.

#### 3.1

##### **grille d'entraînement**

dispositif destiné à la détermination de la réponse en fréquence des microphones et qui comporte une plaque rigide, électriquement conductrice, placée à proximité de la membrane du microphone de sorte qu'une tension alternative, appliquée entre la plaque et la membrane, produise une force d'origine électrostatique qui simule une pression acoustique uniformément répartie sur la surface de la membrane

#### 3.2

##### **réponse en fréquence d'un microphone à la grille d'entraînement**

signal de sortie d'un microphone en fonction de la fréquence mesurée en utilisant un type spécifié de grille d'entraînement à laquelle est appliquée une tension d'amplitude constante en fonction de la fréquence, rapporté au signal de sortie à une fréquence donnée

NOTE La réponse en fréquence d'un microphone à la grille d'entraînement est exprimée en décibels (dB).

#### 3.3

##### **impédance acoustique de rayonnement**

impédance acoustique chargeant la membrane du microphone sur sa face externe

NOTE 1 L'impédance acoustique de rayonnement est exprimée en pascal-seconde par mètre cube (Pa·s·m<sup>-3</sup>).

NOTE 2 L'impédance de rayonnement dépend de la présence et de la configuration de la grille d'entraînement.

### 4 Conditions ambiantes de référence

Les conditions ambiantes de références sont:

|                          |             |
|--------------------------|-------------|
| température              | 23,0 °C     |
| pression statique        | 101,325 kPa |
| taux d'humidité relative | 50 %        |

### 5 Principe de fonctionnement de la grille d'entraînement

#### 5.1 Généralités

Dans la pratique, les mesures acoustiques sont effectuées dans des environnements très différents où différents types de champs acoustiques existent. L'efficacité et la réponse en fréquence des microphones de mesure dépendent du type du champ acoustique de sorte que de façon idéale, il convient d'étalonner le microphone en utilisant un champ similaire à celui qui existe sur le site de mesure. Les différents types de champ acoustique sont généralement approchés par trois champs idéaux: champ libre, champ diffus et champ de pression.

Cependant, la réalisation de tels champs acoustiques idéaux qui conviennent pour l'étalonnage des microphones de mesure dans le domaine des fréquences concernées est techniquement difficile et nécessite des équipements de laboratoire coûteux. Aussi, la méthode de la grille d'entraînement est utilisée pour déterminer une réponse en fréquence relative des microphones de mesure. Cette méthode, qui prend en compte le type de champ acoustique considéré en appliquant des corrections spécifiques prédéterminées, ne nécessite pas de tels équipements.

### 3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 61094-1 as well as the following apply.

#### 3.1

##### **electrostatic actuator**

device for determination of microphone frequency response comprising an electrically conductive stiff plate placed near the microphone diaphragm such that a time-varying voltage, applied between the plate and the diaphragm, produces an electrostatic force that simulates a sound pressure uniformly distributed over the surface of the diaphragm

#### 3.2

##### **electrostatic actuator response of a microphone**

microphone output as a function of frequency measured using a specified design of electrostatic actuator driven by a voltage that is of uniform amplitude with frequency, relative to the output at a specified frequency

NOTE Electrostatic actuator response is expressed in decibels (dB).

#### 3.3

##### **acoustic radiation impedance**

acoustic impedance loading the microphone diaphragm on its outer surface

NOTE 1 Acoustic radiation impedance is expressed in pascal-second per cubic meter ( $\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

NOTE 2 The radiation impedance depends on the presence and design of the actuator.

### 4 Reference environmental conditions

The reference environmental conditions are:

|                   |             |
|-------------------|-------------|
| temperature       | 23,0 °C     |
| static pressure   | 101,325 kPa |
| relative humidity | 50 %        |

### 5 Principle of electrostatic actuator operation

#### 5.1 General

In practice, measurements of sound are made in many different environments where different types of sound fields exist. The sensitivity and frequency response of measurement microphones depend on the type of sound field, so ideally the microphone should be calibrated using a similar type of field to that which exists on the measurement site. The various types of sound fields are generally approximated by three idealized fields: free field, diffuse-field and pressure-field.

However, the establishment of such idealized sound fields, which are suitable for calibration of measurement microphones over the frequency ranges of interest is technically difficult and requires costly acoustical laboratory facilities. Therefore, the electrostatic actuator method is used for determining a relative frequency response of measurement microphones. This method, which accounts for the type of sound field by using specific predetermined corrections, requires no such facilities.

Aux fréquences élevées, l'efficacité en champ libre d'un microphone est déterminée par le comportement de sa membrane et par les effets de diffraction et de réflexion produits par le microphone.

L'effet du comportement de la membrane, qui peut être la cause d'écarts significatifs dans les réponses relatives en fréquence entre différents microphones d'un même modèle, nécessite une détermination spécifique. La détermination de la réponse en fréquence est réalisée par la méthode de la grille d'entraînement.

L'effet de la diffraction et de la réflexion dépend du type de champ acoustique, de la forme et des dimensions du microphone. Comme ces paramètres sont sensiblement les mêmes pour tous les microphones d'un même modèle, les effets de diffraction et de réflexion ne diffèrent pas de manière significative entre les différents microphones d'un même modèle.

Aussi, des corrections pour des types spécifiques de champ acoustique peuvent être déterminées une fois pour toutes pour un modèle de microphone et être appliquées ensuite à la réponse à la grille d'entraînement de n'importe quel microphone de ce modèle.

Les corrections pour le champ libre et le champ de pression sont calculées en déterminant respectivement les réponses en fréquence d'un ou de plusieurs microphones d'un même modèle par utilisation des méthodes d'étalonnage acoustiques, comme celles qui sont données par exemple dans la CEI 61094-2 et la CEI 61094-3, et en retranchant la réponse correspondante obtenue à la grille d'entraînement.

En principe, la méthode d'étalonnage à la grille d'entraînement peut être utilisée depuis des fréquences très basses jusqu'à des fréquences très élevées. Cependant, la grille n'excite que la membrane du microphone et n'agit pas au niveau de la fuite d'égalisation des pressions statiques, qui est généralement exposée à l'onde acoustique quand les mesures ont lieu en champ libre. L'excitation due à la grille correspond à celle d'un champ de pression et ne peut donc pas être utilisée pour la détermination de la fréquence limite inférieure d'utilisation dans des conditions de champ libre. Il convient de ne déterminer la réponse en champ libre à l'aide d'une grille d'entraînement que pour des fréquences qui sont au moins 10 fois plus grandes que la fréquence limite inférieure déterminée par la constante de temps du système d'égalisation de pression du microphone. Aux fréquences basses, une petite perforation de la membrane du microphone entraînera divers effets sur la réponse à la grille d'entraînement et sur les réponses acoustiques en champ de pression ou en champ libre. Aux fréquences élevées, le degré avec lequel l'excitation avec la grille d'entraînement se rapproche de celle qui correspond à un champ de pression dépend de la relation entre l'impédance acoustique de la membrane du microphone et l'impédance de rayonnement acoustique de la membrane du microphone avec la grille en place. Cette relation est décrite en 5.3 alors que 9.3 décrit quelques conséquences pratiques pour la détermination des caractéristiques d'un microphone en fonction de l'environnement.

## 5.2 Pression électrostatique

La plaque rigide et électriquement conductrice de la grille d'entraînement est placée à proximité de la membrane du microphone et parallèlement à celle-ci, voir Figure 1. Elle forme un condensateur électrique avec la membrane du microphone qui doit aussi être conductrice. Quand une tension est appliquée entre les armatures du condensateur, la grille produit une force  $F$  répartie sur toute la surface de la membrane; voir l'Equation (1) ci-dessous.

La pression correspondante  $p_{\text{act}}$  produite de manière électrostatique est définie par l'Equation (2). Les effets de bord sont négligés. Le rapport entre la surface effective de la grille et la surface active de la membrane est une constante généralement inférieure à l'unité puisque la grille est munie de perforations pour des raisons acoustiques.



At higher frequencies, the free-field sensitivity of a microphone is determined by the behaviour of its diaphragm and the sound diffraction and reflection caused by the microphone.

The effect of the diaphragm behaviour, which may cause significant differences in the relative frequency responses between individual microphones of the same model, requires specific determination. This frequency response determination is performed using the electrostatic actuator method.

The effect of the diffraction and reflection depends on the type of sound field and on the shape and dimensions of the microphone. As these parameters are essentially the same for all microphones of the same model, the influence of diffraction and reflection does not differ significantly between individual microphones of the same model.

Therefore, corrections for specific types of sound field may be determined once for a model of microphone and subsequently applied to the electrostatic actuator response of any microphones of that model.

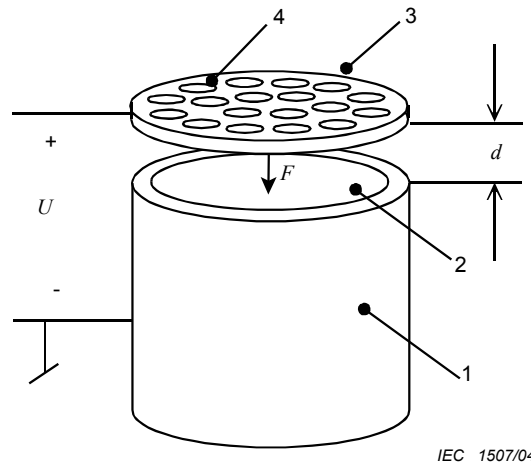
Free-field and pressure-field corrections are calculated by determining the respective frequency responses of one or more microphones of the same model by using acoustical calibration methods, for example, those in IEC 61094-2 and IEC 61094-3, and by subtracting the respective electrostatic actuator responses.

In principle, the electrostatic actuator calibration method may be used from very low to very high frequencies. However, the actuator excites the microphone diaphragm only and not the static pressure equalisation vent, which is generally exposed to sound when measurements are made in a free-field. The actuator excitation corresponds to that of a pressure-field and thus cannot be used for determination of the lower limiting frequency under free-field conditions. Free-field response determinations by electrostatic actuator should only be made at frequencies which are at least 10 times greater than the lower limiting frequency derived from the time constant of the venting system of the microphone. At low frequencies, a small perforation in the microphone diaphragm will exhibit different effects in the actuator response and in the acoustic responses in a pressure field or a free field. At high frequencies, the degree to which the actuator excitation approximates that of a pressure field depends on the relation between the acoustic impedance of the microphone diaphragm and the acoustic radiation impedance of the microphone diaphragm with the actuator in place. This relation is described in 5.3, while 9.3 describes some practical consequences for the determination of the environmental characteristics of a microphone.

## 5.2 Electrostatic pressure

The rigid and electrically conductive plate of the actuator is placed close to and parallel to the microphone diaphragm, see Figure 1. It forms an electrical capacitor together with the microphone diaphragm, which shall also be electrically conductive. When a voltage is applied between the capacitor plates, the actuator produces a force  $F$  distributed over the diaphragm surface; see Equation (1) below.

The corresponding electrostatically produced pressure  $p_{\text{act}}$  is defined by Equation (2). Edge effects are neglected. The ratio between the effective actuator area and the active diaphragm area gives a constant, which is generally less than unity because the actuator is perforated for acoustic reasons.



**Légende**

- 1 Boîtier du microphone
- 2 Membrane du microphone. Surface  $S_{dia}$
- 3 Grille d'entraînement. Surface  $S_{act}$
- 4 Perforations

**Figure 1 – Principe du microphone et de la grille d'entraînement**

$$F = -\frac{\epsilon_{gas} S_{act}}{2d^2} U^2 \quad (1)$$

$$p_{act} = \frac{F}{S_{dia}} = -\frac{\epsilon_{gas}}{2d^2} a U^2 \quad (2)$$

où

$F$  est la force électrostatique agissant sur la membrane, en newtons (N) (une force repoussant la membrane est comptée positivement alors qu'une force attirant la membrane est comptée négativement);

$p_{act}$  est la pression d'origine électrostatique engendrée sur la membrane, en pascals (Pa);

$\epsilon_{gas}$  est la permittivité du gaz dans l'espace entre la grille et la membrane, en farads par mètre (F/m) (pour l'air:  $\epsilon_{gas} = 8,85 \times 10^{-12}$  F/m);

$d$  est la distance effective entre la grille et la membrane, en mètres (m);

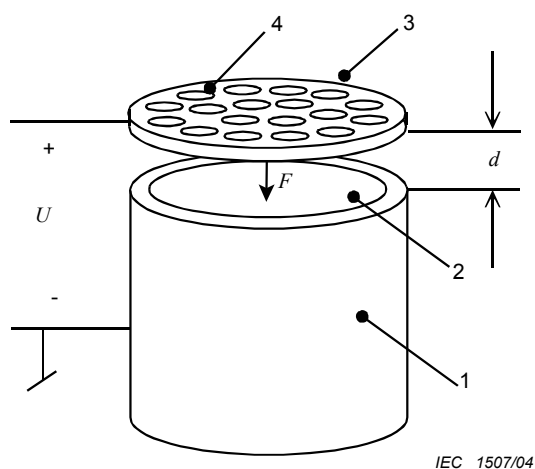
$S_{dia}$  est la surface active de la membrane, en mètres carrés (m<sup>2</sup>);

$S_{act}$  est la surface effective de la grille en regard de la surface active de la membrane, en mètres carrés (m<sup>2</sup>);

$a = \frac{S_{act}}{S_{dia}}$  est le rapport entre la surface effective de la grille et la surface active de la membrane;

$U$  est la tension appliquée entre la grille et la membrane du microphone, en volts (V).

Les grilles sont généralement polarisées par une tension continue à laquelle est superposée une tension alternative sinusoïdale. L'Equation (3) définit la pression instantanée sur la membrane dans ce mode de fonctionnement.

**Key**

- 1 Microphone housing
- 2 Microphone diaphragm. Area  $S_{\text{dia}}$
- 3 Electrostatic actuator. Area  $S_{\text{act}}$
- 4 Holes

**Figure 1 – Principle of microphone and electrostatic actuator**

$$F = -\frac{\epsilon_{\text{gas}} S_{\text{act}}}{2d^2} U^2 \quad (1)$$

$$p_{\text{act}} = \frac{F}{S_{\text{dia}}} = -\frac{\epsilon_{\text{gas}}}{2d^2} a U^2 \quad (2)$$

where

$F$  is the electrostatic force produced on diaphragm (a pushing or pulling force is considered to be positive or negative respectively), in newtons (N);

$p_{\text{act}}$  is the electrostatically produced pressure on the diaphragm, in pascals (Pa);

$\epsilon_{\text{gas}}$  is the dielectric constant of gas in space between actuator and diaphragm, in farads per meter (F/m) (in air:  $\epsilon_{\text{gas}} = 8,85 \times 10^{-12}$  F/m);

$d$  is the effective distance between actuator and diaphragm, in meters (m);

$S_{\text{dia}}$  is the active diaphragm area, in square meters ( $\text{m}^2$ );

$S_{\text{act}}$  is the effective surface area of actuator above the active diaphragm area, in square meters ( $\text{m}^2$ );

$a = \frac{S_{\text{act}}}{S_{\text{dia}}}$  is the ratio between effective actuator area and active diaphragm area;

$U$  is the voltage applied between actuator and microphone diaphragm, in volts (V).

Actuators are generally operated with a d.c voltage and a superimposed sinusoidal a.c voltage. Equation (3) describes the instantaneous electrostatic pressure on the diaphragm for this mode of operation.

$$p(t) = -\frac{\varepsilon_{\text{gas}} a}{2d^2} \left( U_0 + u\sqrt{2} \sin(\omega t) \right)^2 \quad (3)$$

Les Equations (4), (5) et (6) définissent les composantes de la pression électrostatique qui en résultent, comprenant la pression acoustique utile équivalente  $p$  à la fréquence fondamentale du signal électrique et deux composantes non souhaitées, une pression acoustique  $p_d$  correspondant au deuxième harmonique et une pression statique  $p_{\text{stat}}$ .

$$p = \frac{\varepsilon_{\text{gas}} a}{d^2} U_0 u \quad (4)$$

$$p_d = \frac{\varepsilon_{\text{gas}} a}{2\sqrt{2} d^2} u^2 \quad (5)$$

$$p_{\text{stat}} = -\frac{\varepsilon_{\text{gas}} a}{2d^2} \left( U_0^2 + u^2 \right) \quad (6)$$

où

|                   |                                                                                                                        |
|-------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $p(t)$            | est la pression acoustique équivalente instantanée, en pascals (Pa);                                                   |
| $p$               | est la valeur efficace de la pression acoustique à la composante fondamentale, en pascals (Pa);                        |
| $p_d$             | est la valeur efficace de la pression acoustique à la fréquence du deuxième harmonique, en pascals (Pa);               |
| $p_{\text{stat}}$ | est la pression statique, en pascals (Pa);                                                                             |
| $t$               | est le temps, en secondes (s);                                                                                         |
| $U_0$             | est la tension continue appliquée entre la grille et la membrane du microphone, en volts (V);                          |
| $u$               | est la valeur efficace de la tension alternative appliquée entre la grille et la membrane du microphone, en volts (V); |
| $\omega$          | est la pulsation du signal appliqué entre la grille et la membrane du microphone, en radians par seconde (rad/s).      |

L'équation ci-dessous définit le taux de distorsion, c'est-à-dire le rapport, exprimé en pourcentage, entre l'amplitude de l'harmonique 2 et l'amplitude de la composante fondamentale.

$$D = \frac{u}{2\sqrt{2}U_0} 100 \% \quad (7)$$

Des exemples de réalisation de grilles d'entraînement sont donnés à l'Annexe A et des exemples de dispositifs de mesure sont donnés à l'Annexe B.

NOTE 1 Bien que l'Equation (4) définisse la valeur absolue de la pression acoustique équivalente produite sur la membrane du microphone, la méthode de la grille d'entraînement n'est habituellement utilisée que pour mesurer la réponse relative en fréquence. La méthode pourrait être utilisée pour la détermination absolue de l'efficacité d'un microphone mais l'incertitude qui en résulterait serait généralement trop grande pour la plupart des applications. Une incertitude relativement grande est associée à la détermination de la distance  $d$  et au rapport des surfaces  $a$ .

NOTE 2 Les grilles d'entraînement peuvent également être utilisées en appliquant seulement une tension alternative. Les Equations (3), (4), (5) et (6) demeurent valables pour ce mode de fonctionnement ( $U_0 = 0$ ). Il convient de remarquer que la fréquence de la pression acoustique produite de manière électrostatique est égale au double de la fréquence du signal électrique appliqué et que toute variation de la tension d'entrée engendre une modification double de la pression acoustique équivalente.

NOTE 3 L'influence de la distorsion du signal d'excitation, voir l'Equation (7), sur le signal de sortie du microphone dépend de la réponse en fréquence du microphone. Cette influence peut être éliminée en utilisant une technique de mesure sélective afin de mesurer uniquement la composante à la fréquence fondamentale.

$$p(t) = -\frac{\epsilon_{\text{gas}} a}{2d^2} \left( U_0 + u\sqrt{2} \sin(\omega t) \right)^2 \quad (3)$$

The Equations (4), (5) and (6) describe the resulting electrostatic pressure components, which include the desired equivalent sound pressure  $p$  at the fundamental frequency and two non-desired components, a 2<sup>nd</sup> harmonic pressure  $p_d$  and a static pressure  $p_{\text{stat}}$ .

$$p = \frac{\epsilon_{\text{gas}} a}{d^2} U_0 u \quad (4)$$

$$p_d = \frac{\epsilon_{\text{gas}} a}{2\sqrt{2} d^2} u^2 \quad (5)$$

$$p_{\text{stat}} = -\frac{\epsilon_{\text{gas}} a}{2d^2} \left( U_0^2 + u^2 \right) \quad (6)$$

where

- $p(t)$  is the equivalent instantaneous sound pressure, in pascals (Pa);
- $p$  is the r.m.s. value of the sound pressure at the fundamental frequency, in pascals (Pa);
- $p_d$  is the r.m.s. value of the sound pressure at the 2<sup>nd</sup> harmonic frequency, in pascals (Pa);
- $p_{\text{stat}}$  is the static pressure, in pascals (Pa);
- $t$  is the time, in seconds (s);
- $U_0$  is the d.c. voltage applied between actuator and microphone diaphragm, in volts (V);
- $u$  is the r.m.s. value of the a.c. voltage applied between actuator and microphone diaphragm, in volts (V);
- $\omega$  is the angular frequency, in radians per second (rad/s).

The equation below defines the fraction of distortion, i.e. the ratio between the magnitudes of the second harmonic and the fundamental frequency components:

$$D = \frac{u}{2\sqrt{2}U_0} 100 \% \quad (7)$$

Examples of the design of electrostatic actuators are given in Annex A and an example of a measurement set-up in Annex B.

NOTE 1 Although Equation (4) describes the absolute value of the equivalent sound pressure produced on the microphone diaphragm, the actuator method is usually only used for measurement of relative frequency response. The method might be used for determination of absolute microphone sensitivity but the resulting uncertainty would generally be too large for most applications. Relatively large uncertainty is associated with the determination of the distance  $d$  and with the ratio of areas  $a$ .

NOTE 2 Actuators may also be operated with a.c. voltage only. Equations (3), (4), (5) and (6) are also valid for this mode of operation ( $U_0 = 0$ ). It should be noticed that the frequency of the electrostatically produced equivalent pressure becomes twice the frequency of the supplied electrical signal, and that any variation of voltage input level causes a change in this equivalent sound pressure level that is twice as large.

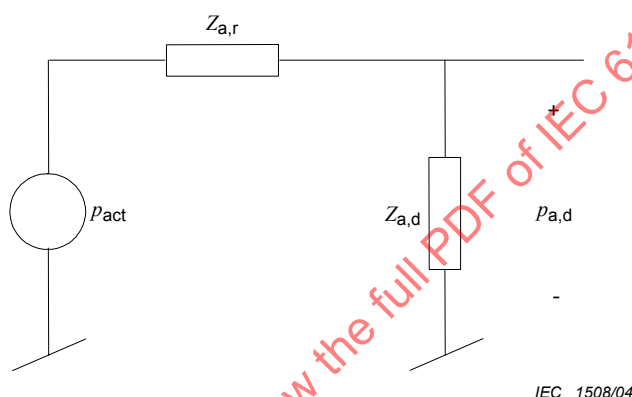
NOTE 3 The influence of the distortion of the excitation signal, see equation (7), on the microphone output signal depends on the frequency response of the microphone. This influence can be eliminated by using a selective measurement technique to measure the fundamental frequency component only.

### 5.3 Réponse à la grille d'entraînement

La méthode de la grille d'entraînement utilise une pression d'origine électrostatique pour exciter la membrane du microphone. Dans la pratique, une pression d'origine électrostatique constante peut être produite sur la membrane du microphone dans un domaine étendu de fréquences en gardant constante la tension alternative d'excitation pendant que la fréquence varie.

Le mouvement de la membrane du microphone produit par l'excitation électrostatique engendre une pression acoustique sur la membrane qui s'ajoute à la pression d'origine électrostatique. Cette pression est fonction de la fréquence et dépend à la fois de l'impédance de la membrane et de l'impédance de rayonnement.

La différence entre la réponse en pression et la réponse à la grille d'entraînement peut être décrite par le modèle de circuit équivalent de la Figure 2.



#### Composants

- $Z_{a,d}$  impédance acoustique de la membrane du microphone en circuit ouvert, la sortie électrique de celui-ci n'étant pas chargée, en pascal-seconde par mètre cube ( $\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$ );
- $Z_{a,r}$  impédance de rayonnement acoustique de la membrane avec la grille en place, en pascal-seconde par mètre cube ( $\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$ );
- $p_{a,d}$  pression acoustique résultante agissant sur la membrane, en pascals (Pa).

**Figure 2 – Modèle à constantes localisées d'un microphone de mesure excité par une grille d'entraînement**

L'influence résultante sur la pression agissant sur la membrane est donnée par le rapport

$$\frac{p_{a,d}}{p_{act}} = \frac{Z_{a,d}}{Z_{a,d} + Z_{a,r}} \quad (8)$$

Pour les microphones dont la membrane possède une impédance élevée, la pression acoustique additionnelle devient relativement faible et la réponse mesurée est principalement égale à la réponse en pression du microphone.

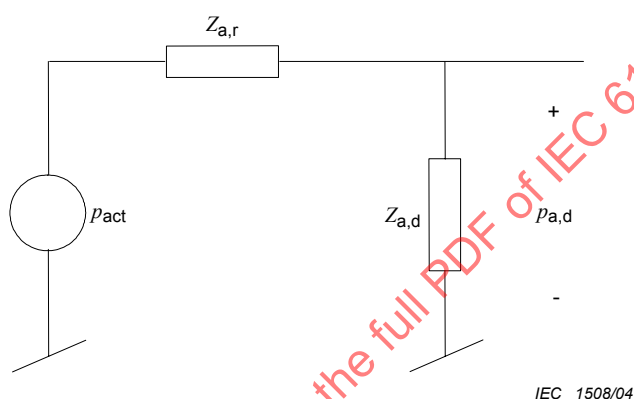
L'impédance de rayonnement et la réponse mesurée sont influencées par la configuration mécanique de la grille d'entraînement elle-même. Afin de garder l'influence de la grille d'entraînement aussi faible que possible, les grilles comportent généralement des trous ou des fentes. Un taux élevé de perforation réduira l'influence de la grille sur l'impédance de rayonnement mais pourra entraîner également une pression plus faible et une distribution moins uniforme de la pression sur la membrane.

### 5.3 Electrostatic actuator response

The electrostatic actuator method uses an electrostatically produced pressure to excite the microphone diaphragm. A constant electrostatic pressure may in practice be produced on a microphone diaphragm over a wide frequency range by keeping the driving a.c. voltage constant while its frequency is varied.

The movement of the microphone diaphragm caused by the electrostatic excitation produces a sound pressure on the diaphragm in addition to the electrostatic pressure. This pressure is a function of frequency as it depends on both the diaphragm impedance and on the radiation impedance.

The difference between the pressure response and the electrostatic actuator response can be described by the equivalent circuit model in Figure 2.



#### Components

- $Z_{a,d}$  acoustic impedance of the microphone diaphragm for unloaded electrical terminals, in pascal-seconds per cubic meter ( $\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$ );
- $Z_{a,r}$  acoustic radiation impedance of the diaphragm with the actuator in place, in pascal-second per cubic meter ( $\text{Pa} \cdot \text{s} \cdot \text{m}^{-3}$ );
- $p_{a,d}$  Resulting equivalent sound pressure acting on the diaphragm, in pascals (Pa).

**Figure 2 – Lumped parameter model of a measurement microphone excited by an electrostatic actuator**

The resulting influence on the pressure acting on the diaphragm is then given by the ratio

$$\frac{p_{a,d}}{p_{act}} = \frac{Z_{a,d}}{Z_{a,d} + Z_{a,r}} \quad (8)$$

For microphones having high diaphragm impedance, the additional sound pressure becomes relatively low and the measured response becomes essentially equal to the pressure response of the microphone.

The radiation impedance and the measured response are influenced by the mechanical configuration of the electrostatic actuator itself. To keep the influence of the electrostatic actuator as low as possible, actuators are generally perforated by either holes or slots. A high percentage of perforation will reduce the influence of the actuator on the radiation impedance but could also result in a lower pressure and less uniform distribution across the diaphragm.

Pour déterminer les réponses en fréquence valables dans des conditions de champ libre et de pression, des corrections propres au modèle de microphone et de grille d'entraînement doivent être ajoutées à la réponse mesurée à la grille d'entraînement.

## 6 Réalisation de la grille d'entraînement

### 6.1 Généralités

La grille d'entraînement doit être conçue afin que le microphone ne soit pas endommagé et que l'efficacité ne soit pas indûment modifiée quand la grille d'entraînement est appliquée.

### 6.2 Réalisation

Les différences entre la réponse en pression à la grille d'entraînement d'un microphone et, respectivement, la réponse en champ libre et la réponse en champ diffus sont principalement les mêmes pour tous les microphones d'un même modèle. Par conséquent, une fois que ces différences ont été déterminées et qu'elles sont disponibles, n'importe laquelle des trois réponses peut être calculée après la mesure de la réponse à la grille d'entraînement.

Une grille d'entraînement doit être conçue pour mesurer une réponse qui, pour tous les microphones d'un même modèle, donne essentiellement des différences déterminées par rapport aux réponses en champ libre et en pression respectivement.

Les critères de réalisation ci-dessus conduisent aux exigences suivantes:

- a) les mesurages effectués avec une grille donnée doivent être reproductibles;
- b) les mesurages faits avec des grilles d'un type de conception donné doivent être reproductibles pour le même microphone;
- c) l'influence acoustique de la grille elle-même sur la réponse mesurée doit être principalement la même pour tous les microphones d'un même modèle.

Pour obtenir des résultats reproductibles avec la grille, il convient qu'aucune variation significative n'apparaisse dans la réponse mesurée lorsqu'on tourne la grille par rapport au microphone. Cela signifie qu'il convient que la grille produise sur la membrane une distribution de la pression électrostatique principalement uniforme et possédant une symétrie de révolution. Cela peut être obtenu en choisissant pour les éléments de construction (diamètres des trous ou largeurs des fentes) des dimensions petites en comparaison des éléments typiques de configuration de la plaque arrière du microphone. Il est par conséquent recommandé de choisir les dimensions de n'importe quel élément inférieures à 15 % du diamètre de la membrane et un taux de perforation de 40 % ou plus. Le taux typique de perforation est compris entre 40 % et 50 %.

Afin d'obtenir les mêmes résultats avec différentes grilles d'un même modèle, il convient que les grilles soient fabriquées avec des tolérances étroites. Pour un modèle donné de grille, il convient que les variations de la distance entre la grille et la membrane ainsi que le taux de perforation et l'épaisseur de la grille soient compris à l'intérieur d'un intervalle de  $\pm 5\%$  autour de la valeur nominale.

La présence de la grille d'entraînement modifie l'impédance de rayonnement du microphone et donc affecte également la pression résultante agissant sur la membrane; voir la Figure 2 et l'Equation (8). Il convient que l'impédance de rayonnement résultante, qui est en série avec l'impédance du microphone, soit petite, de façon à être sûr que l'influence de la grille est principalement la même pour tous les microphones d'un même modèle, même si l'impédance de leurs membranes varie à l'intérieur des limites associées au modèle de microphone. Cela signifie que les grilles nécessitent en général un nombre important de perforations comme mentionné ci-dessus.



To determine the frequency responses valid for free-field and pressure-field conditions, microphone and actuator model-specific corrections shall be added to the measured actuator response.

## 6 Actuator design

### 6.1 General

The actuator shall be designed such that the microphone is not damaged and the sensitivity is not unduly affected when the actuator is applied.

### 6.2 Design

The difference between the actuator response of a microphone and its free-field, pressure and diffuse-field responses respectively are essentially the same for all microphones of the same model. Therefore, once these differences have been determined and made available, either one of the three responses can be calculated after measurement of the actuator response.

An electrostatic actuator shall be designed to measure a response, which for all microphones of the same model forms essentially fixed differences to the free-field and pressure responses respectively.

The above design criteria lead to the following requirements:

- a) measurements made with a given actuator shall be reproducible;
- b) measurements made with actuators of a given design shall be reproducible with the same microphone;
- c) the acoustic influence of the actuator itself on the measured response shall be essentially the same for all microphones of the same model.

To obtain reproducible results with the actuator, no significant change should occur in the measured response by rotating the actuator relative to the microphone. This means that the actuator should produce an essentially uniform and rotationally symmetric distribution of the electrostatic pressure over the diaphragm. This may be obtained by making the dimensions of pattern details (hole diameters or slot widths) small compared to typical details of microphone backplate designs. It is, therefore, recommended to keep the dimensions of any such details less than 15 % of the microphone diaphragm diameter and the percentage of perforation of 40 % or more. Typical degrees of perforation are between 40 % and 50 %.

To obtain the same results with different actuators of the same model, the actuators should be produced with narrow tolerances. The variations for a given model of actuator on the distance between actuator and diaphragm, the percentage of perforation and the thickness of the actuator should be within  $\pm 5$  % of the nominal value.

The presence of the electrostatic actuator changes the radiation impedance of the microphone, and thus also affects the resulting pressure acting on the diaphragm; see Figure 2 and Equation (8). The resulting radiation impedance, which is in series with the microphone impedance, should be low to ensure that the influence of the actuator becomes essentially the same for all microphones of the same model, even if their diaphragm impedance varies within the limits associated with the model of microphone. This means that actuators generally need to be designed with a high degree of perforation as mentioned above.

NOTE Il convient que les constructeurs et les utilisateurs des grilles soient conscients que les grilles et leurs éventuels systèmes de fixation peuvent entrer en résonance à certaines fréquences et perturber les mesures de réponse en fréquence dans un étroit domaine de fréquences autour de ces résonances.

## 7 Validation

### 7.1 Généralités

La validation d'un modèle de grille d'entraînement est effectuée en réalisant des essais qui prouvent que la grille satisfait aux exigences données en 6.2.

Les caractéristiques de fonctionnement d'une grille dépendent des propriétés du microphone à étalonner. Il convient donc d'effectuer les essais avec tous les modèles de microphones pour lesquels elle est susceptible d'être utilisée.

Les essais portant sur une grille d'un modèle donné associé à un modèle de microphone exigent un minimum de 3 grilles et de 3 microphones des modèles choisis.

### 7.2 Répétabilité des mesurages

Une des grilles doit être essayée avec un des microphones. Les mesurages de la réponse en fréquence doivent être répétés 10 fois. La grille doit être complètement retirée puis replacée sur le microphone entre chaque mesurage. La fréquence de référence des réponses à la grille d'entraînement (voir 3.2) doit être identique pour toutes les répétitions (250 Hz est recommandé). L'écart type expérimental des résultats doit être calculé et ne doit pas excéder 0,04 dB pour n'importe quelle fréquence.

NOTE Il convient que l'angle de rotation entre la grille et le microphone soit différent pour chacune des 10 répétitions, exception faite du cas où la grille fait partie intégrante de la grille de protection de la membrane du microphone.

### 7.3 Uniformité des grilles d'un modèle donné

Toutes les grilles doivent être essayées avec un microphone choisi au hasard. Cinq répétitions du mesurage de la réponse à la grille d'entraînement doivent être effectués avec chaque grille. La fréquence de référence recommandée pour ces mesures est 250 Hz, et la moyenne des cinq répétitions doit être calculée pour chaque grille. Aucune de ces réponses moyennes ne doit s'écarter, pour n'importe quelle fréquence, de plus de 0,06 dB par rapport à la moyenne de tous les résultats de mesure.

NOTE Cet essai ne s'applique pas aux grilles qui font partie intégrante de la grille de protection de la membrane du microphone.

### 7.4 Uniformité de la différence entre la réponse à la grille et la réponse en pression

Une des grilles est choisie au hasard et utilisée pour mesurer la réponse à la grille d'entraînement de chaque microphone. La fréquence de référence recommandée pour ces mesures est 250 Hz et la moyenne de cinq répétitions doit être calculée pour chaque microphone.

La réponse en pression doit être mesurée pour chaque microphone en utilisant les méthodes prescrites dans la CEI 61094-2 ou la CEI 61094-5.

La différence entre la moyenne de la réponse à la grille et la réponse en pression doit être calculée pour chaque microphone. Aucune de ces différences ne doit s'écarter de leur moyenne respective de plus de 0,1 dB.

NOTE Designers and users of actuators should be aware that actuators and their possible fixtures may resonate at certain frequencies and disturb frequency response measurements in narrow frequency ranges around the resonances.

## 7 Validation

### 7.1 General

Validation of a model of electrostatic actuator is made by performing tests, which prove that the actuator conforms to the requirements given in 6.2.

The performance of an actuator depends on the properties of the microphone to be measured. Therefore, the actuator should be tested with all models of microphones for which it is to be used.

Testing of a model of actuator with a model of microphone requires a minimum of 3 actuators and 3 microphones of the selected models.

### 7.2 Repeatability of measurements

One of the actuators shall be tested with one of the microphones. Measurements of electrostatic actuator response shall be replicated ten times. The actuator shall be fully removed from and replaced on the microphone between the measurements. The specified frequency of the electrostatic actuator responses (see 3.2) shall be the same for all replications (250 Hz is recommended). The experimental standard deviation of the results shall be calculated and not exceed 0,04 dB at any frequency.

NOTE The angle of rotation between the actuator and the microphone should be different for the 10 reproductions of the measurements except for actuators which are an integral part of a microphone diaphragm protecting grid.

### 7.3 Uniformity of actuators of a given model

All the actuators shall be tested with a microphone that has been randomly selected. Five repetitions of electrostatic actuator response measurement shall be performed with each actuator. The recommended specified frequency for these measurements is 250 Hz, and the average of the five repetitions shall be calculated for each actuator. None of these average responses shall at any frequency deviate more than 0,06 dB from the average of all measurements.

NOTE This test does not apply to actuators which are integral parts of microphone diaphragm protection grids.

### 7.4 Uniformity of the difference between actuator and pressure response levels

One of the actuators is randomly selected and used to measure the electrostatic actuator response of each microphone. The recommended specified frequency for these measurements is 250 Hz, and the average of five repetitions shall be calculated for each microphone.

The pressure response shall be measured for each microphone using the methods specified in IEC 61094-2 or IEC 61094-5.

The difference between the average actuator response and the pressure response level shall be calculated for each microphone. None of these differences shall deviate from their mean value by more than 0,1 dB.

## 8 Mesure de la réponse à la grille d'entraînement

### 8.1 Système de mesure de la réponse à la grille d'entraînement

Les systèmes de mesure de la réponse d'un microphone à la grille d'entraînement sont formés de deux parties: un système d'excitation électrostatique de la membrane du microphone et un système de détermination de la tension de sortie du microphone. Des éléments d'un système de mesure typique sont montrés à l'Annexe B, Figure B.1.

Le système peut mesurer soit la réponse d'un microphone et du préamplificateur associé soit la réponse en circuit ouvert du microphone seul. Dans ce dernier cas, la technique de l'insertion de tension doit être utilisée afin de corriger l'influence de la charge du microphone.

Le modèle de grille utilisé doit satisfaire aux exigences données à L'Article 7. La grille d'entraînement doit être utilisée de sorte que le microphone ne soit pas endommagé et que l'efficacité ne soit pas indûment modifiée quand la grille d'entraînement est placée sur le microphone.

La réponse en fréquence à la grille d'entraînement d'un microphone est influencée par les conditions ambiantes. La pression ambiante, la température et l'humidité relative doivent donc être mesurées et données avec la réponse mesurée du microphone.

Quand on réalise un système de mesure, on doit s'assurer que la diaphonie qui pourrait exister entre la partie d'excitation et la partie de mesure du système de mesure n'influe pas de manière significative sur le résultat de mesure. On doit aussi s'assurer que la composante statique de la pression acoustique produite par la grille d'entraînement est suffisamment faible pour ne pas modifier de manière significative la réponse en fréquence du microphone en déplaçant sa membrane.

#### 8.1.1 Diaphonie

Une valeur typique de la tension alternative appliquée à la grille d'entraînement est de 30 V. Cette tension conduit à une pression d'origine électrostatique de l'ordre de 1 Pa et les valeurs de tension de sortie sont comprises entre 0,3 mV et 100 mV, en fonction de la fréquence et du modèle du microphone mesuré. Il en résulte une différence de niveau comprise entre 50 dB et 100 dB entre la tension d'excitation de la grille et la tension de sortie du microphone. Par exemple, afin de s'assurer qu'un signal de diaphonie provenant de la tension d'excitation n'influe pas sur la valeur mesurée de la tension de sortie de plus de 0,03 dB, il est nécessaire que le niveau du signal de diaphonie soit inférieur d'au moins 50 dB au niveau du signal de sortie du microphone. Ainsi, des différences de niveaux aussi élevées que 100 dB à 150 dB entre le signal d'excitation de la grille et le signal de diaphonie du microphone peuvent être nécessaires, en fonction de l'incertitude exigée et du modèle de microphone. Des informations supplémentaires sont données à l'Annexe B.

#### 8.1.2 Force d'attraction statique

La présence d'une tension continue entre la grille et la membrane du microphone provoque une force d'attraction statique qui peut être déduite de l'Equation (6). Cette force provoque une modification de la distance entre la membrane et la plaque arrière du microphone et par conséquent une petite variation de l'efficacité du microphone, en particulier autour de la fréquence de résonance. L'influence estimée de cet effet est inférieure à 0,05 dB si le critère suivant est satisfait:

$$\frac{M_p \cdot p_{\text{stat}}}{U_{\text{pol}}} < 2 \cdot 10^{-3} \quad (9)$$

## 8 Measurement of electrostatic actuator response

### 8.1 System for measurement of electrostatic actuator response

Systems for measurement of electrostatic actuator response of a microphone consist of two parts: a system for electrostatic excitation of the microphone diaphragm and a system for determination of the microphone output voltage. Elements of a typical measurement system are shown in Annex B, Figure B.1.

The system may either measure the response of a microphone with its associated preamplifier or the open circuit response of the microphone itself. In the latter case the insert voltage technique shall be used to correct for the influence of loading of the microphone.

The applied model of actuator shall fulfil the requirements given in Clause 7. The actuator shall be operated such that the microphone is not damaged and such that its sensitivity is not unduly affected when the actuator is positioned on the microphone.

The electrostatic actuator response of a microphone is influenced by environmental conditions. Ambient pressure, temperature and relative humidity shall thus be measured and stated together with the measured microphone response.

When setting up a measurement system it shall be ensured that cross-talk, which may occur between the excitation part and the measuring part of the measurement system, does not significantly influence the measurement result. It shall also be ensured that the static pressure component of the actuator-generated pressure is so small that it does not significantly modify the frequency response of the microphone by displacing its diaphragm.

#### 8.1.1 Cross-talk

Typically the a.c. voltage that is applied to an electrostatic actuator is 30 V. This voltage leads to an electrostatically produced pressure of about 1 Pa and to output voltages of 0,3 mV to 100 mV, depending on the frequency and on the model of measurement microphone. This results in a level difference of 50 dB to 100 dB between the excitation voltage on the actuator and the output voltage of the microphone. For example, to ensure that a cross-talk signal arising from the excitation voltage does not influence the measured output voltage from the microphone by more than 0,03 dB, the cross-talk signal needs to be 50 dB below the microphone output signal. Thus, differences in level as high as 100 dB to 150 dB between actuator signal and microphone cross-talk signal may be necessary, depending on the required uncertainty and model of microphone. Further information is given in Annex B.

#### 8.1.2 Static attraction force

The presence of a d.c. voltage between actuator and microphone diaphragm results in a static attraction force which can be derived from Equation (6). This force results in a change of the diaphragm to backplate distance in the microphone and consequently a small change in the sensitivity of the microphone, in particular around the resonance frequency. The estimated influence of this effect is less than 0,05 dB if the following criterion is fulfilled:

$$\frac{M_p \cdot p_{\text{stat}}}{U_{\text{pol}}} < 2 \cdot 10^{-3} \quad (9)$$

où

$M_p$  est l'efficacité du microphone, en volts par pascal (V/Pa);

$p_{stat}$  est la force d'attraction statique par unité de surface donnée par l'Equation (6), en pascals (Pa);

$U_{pol}$  est la tension de polarisation externe ou la tension de polarisation interne équivalentes du microphone, en volts (V).

Pour une distance nominale de 0,5 mm entre la grille et la membrane, la valeur typique de la tension continue appliquée est de l'ordre de 800 V.

Les tensions, continue et alternative, appliquées à la grille doivent être choisies de telle sorte que le taux de distorsion, donné par l'Equation (7) n'influe pas de manière significative sur la réponse mesurée. Il convient de prendre des précautions particulières si le microphone lui-même ou l'environnement entraînent des variations d'amplitudes importantes dans la réponse résultante.

NOTE 1 Il convient de s'assurer que la valeur du champ électrique créé par les tensions continue et alternative appliquées entre la grille et la membrane du microphone est bien en dessous de la valeur du champ disruptif pour le gaz utilisé afin d'éviter des décharges dues à l'ionisation. Pour beaucoup de gaz, il convient de noter que cette valeur est inférieure à celle dans l'air. Une quantité excessive de poussières ou autres dépôts sur la membrane peuvent augmenter le risque de telles décharges.

NOTE 2 Les grilles ne sont généralement pas complètement isolées, ce qui présente un risque pour l'opérateur quand des tensions alternatives et continues élevées sont appliquées à la grille. Cela signifie qu'il faut respecter les exigences concernant la sécurité électrique qui sont valables pour le laboratoire ou tout autre site d'utilisation. De telles exigences établissent généralement une valeur limite supérieure pour le courant qui peut être délivré par inadvertance par les sources d'alimentation de la grille.

## 8.2 Composantes d'incertitude

### 8.2.1 Généralités

En plus des facteurs qui influent sur la réponse du microphone, des composantes d'incertitude supplémentaires sont dues à la méthode de mesure, aux équipements et au degré de précaution pris lorsque les mesures sont effectuées. Les facteurs qui affectent la mesure de manière connue doivent être mesurés ou calculés avec une exactitude aussi élevée que possible dans le but de réduire leur influence sur l'incertitude qui en résulte.

### 8.2.2 Réponse en fréquence électrique de l'appareillage de mesure

Il convient que la réponse en fréquence du système de mesure complet qui produit le signal électrique d'excitation appliqué à la grille d'entraînement et qui mesure le signal de sortie du microphone soit essentiellement constante ou qu'elle soit prise en compte en appliquant des corrections aux résultats des mesures. La réponse en fréquence globale peut être mesurée en appliquant une fraction du système alternatif d'excitation à l'entrée du système qui mesure le signal de sortie du microphone. Si la tension à circuit ouvert doit être déterminée, le signal doit être appliqué sous la forme d'un signal d'insertion de tension en série avec le microphone lui-même. Pendant l'essai, les réglages du système doivent être identiques à ceux qui sont utilisés lors de la mesure de la réponse à la grille et l'ordre de grandeur du signal d'essai doit être le même que celui du signal de sortie du microphone.

### 8.2.3 Diaphonie du système de mesure

Les signaux dus à la diaphonie sont corrélés avec le signal de mesure réel et s'ajoutent linéairement à celui-ci. Afin de s'assurer, par exemple, d'une influence inférieure à 0,03 dB, il est nécessaire que le niveau du signal de diaphonie soit inférieur d'au moins 50 dB au niveau du signal de sortie du microphone.

where

$M_p$  is the pressure sensitivity of the microphone, in volts per pascal (V/Pa);

$p_{\text{stat}}$  is the static attraction force per unit area given by Equation (6), in pascals (Pa);

$U_{\text{pol}}$  is the external or equivalent internal polarization voltage of the microphone, in volts (V).

For a nominal distance of 0,5 mm between actuator and diaphragm the d.c. voltage applied to the actuator is typically about 800 V.

The a.c. and d.c. voltage applied to the actuator shall be chosen such that the distortion as given by Equation (7) does not influence the measured response significantly. Particular care should be taken if the microphone itself or the surrounding environment introduces high peaks in the resulting response.

NOTE 1 It should be ascertained that the electrical field strength between the actuator and the microphone diaphragm created by the applied d.c. and a.c. voltage is well below the breakdown voltage for the gas in use in order to avoid ionic discharges. For many gases, it should be noted that the breakdown voltage is lower than for air. An excessive amount of dust or other deposits on the diaphragm may increase the risk of ionic discharges.

NOTE 2 Actuators are generally not fully insulated which represents a risk to the operator when a high d.c. and a.c. voltage is applied to the actuator. This means that the electrical safety requirements, which are valid for the laboratory or other site of use, must be followed. Such requirements generally set upper limits for the current, which might inadvertently be drawn from the voltage supply for the actuator.

## 8.2 Uncertainty components

### 8.2.1 General

In addition to the factors that influence the response of the microphone, further uncertainty components are introduced by the measurement method, the equipment and the degree of care under which the measurement is carried out. Factors, which affect the measurement in a known way, shall be measured or calculated with as high an accuracy as practicable in order to minimise their influence on the resulting uncertainty.

### 8.2.2 Electrical frequency response of measurement equipment

The frequency response of the entire measurement system that generates the electrical excitation signal for the actuator and measures the microphone output signal, should either be essentially constant or accounted for by correcting the measurement result. The overall frequency response may be measured by applying a fraction of the a.c. excitation signal to the input of the system that measures the microphone output signal. Where the open-circuit response is to be determined, the signal shall be applied as an insert voltage signal in series with the microphone itself. During the test the system settings shall be the same as those applied for the actuator response measurement and the order of magnitude of the test signal shall be equal to that of the microphone output signal.

### 8.2.3 Cross-talk of measurement system

Signals due to cross-talk are correlated with the true measurement signal and adds linearly to the microphone output signal. For example, to ensure an influence of less than 0,03 dB, the magnitude of the cross-talk signal needs to be at least 50 dB below the microphone output signal.



#### 8.2.4 Bruit électrique interne et bruit acoustique ambiant

Le bruit non corrélé avec le signal de sortie réel, s'additionne quadratiquement au signal de sortie. Afin de s'assurer, par exemple, d'une influence inférieure à 0,03 dB, il est nécessaire que le niveau du signal du au bruit soit inférieur d'au moins 25 dB au niveau du signal considéré.

#### 8.2.5 Distorsion

La pression électrostatique produite par la grille d'entraînement présente de la distorsion; voir 5.2, Equation (3). L'influence de la distorsion sur la réponse mesurée dépend du principe de mesure utilisé. Dans le cas de mesures sélectives, l'influence peut être éliminée. Dans le cas de mesures non sélectives, une influence sur la réponse en fréquence mesurée peut apparaître s'il existe une différence significative entre l'efficacité du microphone correspondant à la fréquence de mesure et aux fréquences des composants harmoniques.

Par conséquent, avec une méthode de mesure non sélective, il peut y avoir une influence à l'intérieur du domaine de fréquences lorsque la réponse à la grille d'entraînement varie avec la fréquence. Par exemple, pour conserver une influence inférieure à 0,05 dB, lors de la mesure de la courbe de réponse en fréquence d'un microphones étalon de travail, le taux de distorsion ne doit pas excéder 5 %.

#### 8.2.6 Impédance de rayonnement

Le déplacement de la membrane du microphone dû à la pression électrostatique engendre une pression acoustique sur la surface externe de la membrane qui s'ajoute à la pression électrostatique et qui influe sur la réponse mesurée. L'influence de cette pression acoustique dépend de l'impédance de rayonnement qui charge la surface. Il est donc nécessaire que la réponse en fréquence du microphone soit mesurée dans des conditions d'espace entièrement libre.

Par conséquent, on doit s'assurer que les surfaces réfléchissantes ou que l'utilisation d'une enceinte quelconque (utilisée pour réduire le bruit ambiant par exemple) n'ont pas d'influence significative sur l'impédance de rayonnement et sur la réponse mesurée du microphone. On doit vérifier expérimentalement que les résultats obtenus sur le site de mesure sont essentiellement identiques aux résultats obtenus en espace libre.

La composante d'incertitude doit être prise comme la différence entre les réponses et ne devrait généralement pas excéder 0,05 dB.

NOTE Habituellement, l'influence du site de mesure est particulièrement critique pour des microphones possédant une efficacité élevée.

#### 8.2.7 Reproductibilité des mesures

La reproductibilité est déterminée par la stabilité du microphone, les conditions ambiantes, les instruments de mesure et la grille d'entraînement. L'incertitude relative à la grille est due en partie à sa position sur le microphone et en partie aux tolérances dimensionnelles du modèle de grille. Les limites de ces composantes d'incertitude sont données à l'Article 7.

#### 8.2.8 Incertitude sur la réponse à la grille d'entraînement

On estime qu'une détermination de la réponse à la grille d'entraînement selon cette norme peut atteindre une incertitude élargie avec un facteur d'élargissement égal à 2 (voir GUIDE EXPRES ISO/CEI – GUM) comprise entre 0,1 dB et 0,2 dB jusqu'à 10 kHz pour des microphones étalons de travail de type WS1 et WS2. L'Annexe C contient un exemple d'analyse d'incertitude pour un microphone de type WS2 ayant une efficacité nominale de 50 mV/Pa.

NOTE Cette estimation de l'incertitude ne concerne que la réponse en fréquence. Si d'autres facteurs sont utilisés pour déterminer une réponse acoustique, par exemple l'efficacité du microphone à la fréquence de référence ou les corrections appliquées pour passer de la réponse à la grille aux réponses en champ libre ou en pression, il est nécessaire d'inclure les composantes d'incertitude sur ces facteurs.



#### 8.2.4 Inherent electrical and environmental acoustic noise

Noise that is non-correlated with the true measurement signal adds to the output signal on r.m.s. basis. For example, to ensure an influence of less than 0,03 dB the magnitude of the noise needs to be at least 25 dB below the signal.

#### 8.2.5 Distortion

The electrostatic pressure produced by an electrostatic actuator is distorted; see 5.2, Equation (3). The influence of the distortion on the measured response depends on the applied measurement principle. In case of frequency-selective measurements the influence may be eliminated. In case of non-selective measurements some influence on the measured frequency response may occur if a significant difference is present between the microphone sensitivity at the measurement frequency and at its harmonic components.

Therefore, with non-selective measurements there can be some influence within the frequency range, where the actuator response changes with frequency. For example, to keep this influence below 0,05 dB, when measuring the frequency response of working standard microphones, the distortion shall not exceed 5 %.

#### 8.2.6 Radiation impedance

The motion of the microphone diaphragm, caused by the electrostatic pressure, creates a sound pressure on the outer surface of the diaphragm that adds to the electrostatic pressure and influences the measured response. The influence of this sound pressure depends on the radiation impedance that loads the surface. So it is necessary for the microphone response to be measured under fully open conditions.

Therefore, it shall be ensured that reflecting surfaces or the use of any enclosure (for the reduction of ambient noise for example) do not significantly influence the radiation impedance and the measured response of the microphone. It shall be experimentally verified that measurement results obtained at the measurement site are essentially equal to results obtained in an open space.

This uncertainty component shall be taken as the difference between the responses and in general should not exceed 0,05 dB.

NOTE Usually the influence of the measurement site is most critical for microphones of high sensitivity.

#### 8.2.7 Reproducibility of measurement

The reproducibility is determined by the stability of the microphone, the environmental conditions, the measurement instruments and the electrostatic actuator. The uncertainty related to the actuator is partly due to its positioning on the microphone and partly due to the tolerance of dimensions for the model of actuator. Limits of these uncertainty components are given in Clause 7.

#### 8.2.8 Uncertainty on electrostatic actuator response

It is estimated that a determination of an electrostatic actuator response according to this standard can achieve an expanded uncertainty with coverage factor 2 (see ISO/IEC GUIDE EXPRESS (GUM)) of 0,1 to 0,2 dB up to 10 kHz for types of WS1 and WS2 working standard microphones. Annex C contains an example of an uncertainty analysis for a WS2 microphone having a nominal sensitivity of 50 mV/Pa.

NOTE This uncertainty estimate is for the actuator response only. If other factors are used to determine an acoustic response, for example the microphone sensitivity at the reference frequency or actuator to free-field or pressure response corrections, then the uncertainty in these factors also needs to be included.

## 9 Applications de la grille d'entraînement

### 9.1 Généralité

Les descriptions complètes des applications des grilles d'entraînement, incluant des analyses détaillées des incertitudes, sont en dehors du domaine d'application de cette norme. Cependant, les renseignements donnés dans cet article fournissent des indications sur les possibilités offertes en les utilisant.

### 9.2 Vérification de la réponse en fréquence d'un système de mesure

La réponse en fréquence globale d'un système de mesure peut être contrôlée au cours du temps en utilisant une grille d'entraînement pour simuler une pression acoustique sur la membrane du microphone. Le système en essai peut être un instrument unique comme un sonomètre portatif ou un système complexe comme un système de surveillance acoustique extérieur (voir par exemple la CEI 61672-1<sup>1</sup>), où le ou les microphones et le ou les préamplificateurs associés sont séparés des organes indicateurs du système. Dans les deux cas, la grille d'entraînement peut faire partie intégrante de la grille de protection de la membrane du microphone.

Une vérification de la stabilité de la réponse en fréquence d'un microphone ou d'un système de mesure peut être effectuée en faisant un mesurage initial de la réponse en fréquence à la grille d'entraînement suivi par des mesurages périodiques correspondants, à condition que tous les mesurages soient réalisés avec le même modèle de grille. La périodicité des étalonnages dépend des exigences concernant le système et de ses caractéristiques.

La reproductibilité des mesurages de la réponse en fréquence dépend fortement du système de mesure réellement utilisé et des conditions ambiantes prédominantes.

### 9.3 Détermination des caractéristiques des systèmes de mesure des microphones en fonction de l'environnement

La détermination de la réponse en fréquence d'un microphone dans des conditions ambiantes variables est difficile en utilisant une excitation acoustique du microphone. L'influence des conditions ambiantes aussi bien sur la source acoustique que sur la propagation du son fait qu'il est nécessaire dans la pratique d'exciter le microphone par d'autres moyens. La méthode de la grille d'entraînement est appropriée pour de tels objets puisque la pression électrostatique est principalement indépendante des conditions ambiantes, voir l'Equation (4). Cependant, l'impédance de rayonnement est influencée par la pression statique, la température et l'humidité. Cette variation en fonction des conditions ambiantes influera sur la réponse mesurée du microphone aux fréquences situées dans la partie supérieure du domaine d'utilisation, voir l'Equation (8). Cette influence est généralement faible mais il convient de l'analyser et de l'évaluer.

NOTE 1 La réponse en fréquence déterminée avec une grille d'entraînement ne prend pas en compte l'effet de diffraction autour du microphone. Voir la CEI 61094-3. Pour les caractéristiques des microphones dans un environnement de champ libre, l'influence des variations de température sur le terme de diffraction peut être plus grande aux fréquences élevées que l'influence sur l'impédance de rayonnement.

NOTE 2 Si une grille d'entraînement est utilisée pour étudier l'influence de la température sur la réponse d'un microphone, il convient que la pression acoustique équivalente produite par la grille d'entraînement soit indépendante de la température. Aussi, il faut que la distance entre la grille et la membrane du microphone reste sensiblement constante; voir l'Equation (4). Il convient ainsi de prêter une attention particulière dans la conception des grilles d'entraînement à la réduction au minimum de l'effet de la température sur la distance entre la grille et la membrane du microphone.

---

<sup>1</sup> CEI 61672-1, *Electroacoustique – Sonomètres – Partie 1: Spécifications*

## 9 Applications of an electrostatic actuator

### 9.1 General

Full descriptions of the applications of electrostatic actuators, including detailed uncertainty analyses, are beyond the scope of this standard. However, the information given in this clause provides some guidance on what is possible using these devices.

### 9.2 Verification of the frequency response of a measurement system

The overall frequency response of a measurement system can be monitored over time by using an electrostatic actuator to simulate a sound pressure on the microphone diaphragm. The system under test can be a single instrument like a handheld sound level meter or a complex system like an outdoor sound monitoring system (see for example IEC 61672-11), where the microphone(s) and the associated preamplifier(s) are separated from the indicating part of the system. In both cases, the electrostatic actuator may form an integral part of the microphone diaphragm protection grid.

Verification of frequency response stability of a microphone or a system can be performed by making an initial actuator frequency response measurement followed by corresponding periodic measurements, if all measurements are performed with the same model of actuator. The time between verifications depends on the requirements and performance of the system.

The reproducibility of the frequency response measurement is highly dependent on the actual measurement system and the prevailing environmental conditions.

### 9.3 Determination of the environmental characteristics of microphone measurement systems

Determination of the frequency response of a microphone under varying environmental conditions is difficult using acoustical excitation of the microphone. In practice, the influence of the environmental conditions on the sound source and on sound propagation makes it necessary to excite the microphone under test by other means. The electrostatic actuator method is suited for the purposes as the electrostatic pressure is essentially independent of the environmental conditions, see Equation (4). However, the radiation impedance is influenced by static pressure, temperature and humidity. This variation in environmental conditions will influence the measured response of the microphone at frequencies in the upper part of its operation range, see Equation (8). The influence is generally small but should be analysed and evaluated.

NOTE 1 The frequency response determined with an electrostatic actuator does not include the effect of diffraction around the microphone. See IEC 61094-3. For the free-field environmental characteristics of microphones, the influence of temperature variations on the diffraction term may be larger at high frequencies than the influence on the radiation impedance.

NOTE 2 If an electrostatic actuator is used for testing the influence of temperature on the response of a microphone, the equivalent sound pressure produced by an electrostatic actuator should be independent of temperature. Therefore, the distance between the actuator and the diaphragm must be kept essentially constant; see Equation (4). Design of actuators should thus be made with specific attention to the minimization of the effect of temperature on the actuator to diaphragm distance.

#### 9.4 Détermination des réponses en fréquence en champ libre et en pression

La réponse en fréquence d'un microphone à la grille d'entraînement peut être utilisée pour la détermination des efficacités relatives en champ libre et en pression en appliquant des valeurs de correction prédéterminées. Pour chaque modèle et pour chaque configuration de microphones, il existe essentiellement des rapports (ou des différences en décibel) déterminés entre les réponses valables dans les différents types de champs acoustiques et la réponse mesurée avec une grille d'entraînement de configuration particulière.

Pour les efficacités en champ libre, l'amplitude et la phase de ces rapports sont déterminées de manière prépondérante par la forme et la taille du microphone et de sa grille de protection de la membrane alors que l'impédance acoustique de la membrane a une influence plus faible. Pour l'efficacité en pression, l'amplitude et la phase de ce rapport sont seulement influencées par la relation entre l'impédance acoustique de la membrane et l'impédance de rayonnement, voir l'Equation (8).

Dans les cas où les rapports relatifs au champ libre ont été déterminés par le constructeur du microphone ou par un laboratoire d'étalonnage acoustique, les réponses en champ libre et en pression pour un type de microphone peuvent être déterminées en appliquant à la réponse mesurée à la grille d'entraînement les corrections appropriées correspondantes.

Des exemples de diverses corrections sont donnés à l'Annexe D.

NOTE 1 Il convient d'indiquer avec les résultats de mesure la spécification ou le type de la grille d'entraînement puisque la configuration de la grille peut avoir une influence significative sur la réponse en fréquence mesurée.

NOTE 2 Quand des valeurs de correction prédéterminées sont utilisées pour la détermination de la réponse relative en champ libre, il convient de tenir compte des limitations aux fréquences basses indiquées en 5.1.

NOTE 3 Quand des facteurs additionnels sont utilisés pour déterminer une réponse acoustique, par exemple l'efficacité du microphone à la fréquence de référence ou les corrections appliquées pour les passer de la réponse à la grille aux réponses en pression ou en champ libre, il est nécessaire de combiner les incertitudes provenant de ces facteurs additionnels avec l'incertitude de la réponse à la grille d'entraînement pour obtenir l'incertitude globale sur la réponse en fréquence.

#### 9.5 Mesure de la réponse à la grille aux fréquences très élevées

Les méthodes acoustiques d'étalonnage des microphones de mesure sont limitées à une fréquence maximale pour laquelle elles restent valables ou applicables pratiquement.

La mesure de la réponse en fréquence à la grille d'entraînement n'est pas limitée de la même manière. A condition que les précautions mentionnées à l'Article 8 soient prises concernant le bruit, la diaphonie etc., la méthode peut être utilisée au-delà du domaine de fréquences du microphone en essai.

On ne dispose cependant d'aucune donnée permettant de corriger la réponse à la grille dans le but d'obtenir la réponse en pression ou en champ libre d'un microphone. Cependant, dans ce domaine de fréquences, la grille d'entraînement peut être la seule option disponible pour déterminer la réponse d'un microphone.

#### 9.4 Determination of free-field and pressure frequency responses

The electrostatic actuator frequency response of a microphone can be used for determination of relative free-field and pressure sensitivities by applying pre-determined corrections. For each model and configuration of microphones there are essentially fixed ratios (differences in decibel) between the responses applicable to the various types of sound field and the response measured by a specific design of electrostatic actuator.

For the free-field sensitivities the magnitude and the phase of these ratios are predominantly determined by the shape and size of the microphone and its diaphragm protection grid while the acoustic impedance of the diaphragm has a smaller influence. For the pressure sensitivity, the magnitude and phase of the ratio is only influenced by the relation between the acoustic impedance of the diaphragm and the radiation impedance, see Equation (8).

In cases where these field-type dependent ratios have been determined by the microphone manufacturer or an acoustical calibration laboratory, the free-field and pressure responses for a type of microphone may be determined by applying the relevant corresponding corrections to the measured electrostatic actuator response.

Examples of the various corrections are shown in Annex D.

NOTE 1 The specification or type of actuator should be reported with the measurement result as the actuator configuration may significantly influence the measured frequency response.

NOTE 2 When pre-determined corrections are used for determination of the relative free-field response, the low frequency limitations of 5.1 should be observed.

NOTE 3 When additional factors are used to determine an acoustic response, for example the microphone sensitivity at the reference frequency or actuator to free-field or pressure response corrections, then the uncertainty in these additional factors needs to be combined with the uncertainty in the actuator response to obtain the overall uncertainty in the frequency response.

#### 9.5 Measurement of actuator response at very high frequencies

Acoustical calibration methods for measurement microphones are limited in the maximum frequency at which they remain valid or practical.

Measurement of the electrostatic actuator frequency response is not limited in the same way. Provided the same precautions outlined in Clause 8 are taken regarding noise, cross talk etc. the method can be implemented beyond the range of the microphone under test.

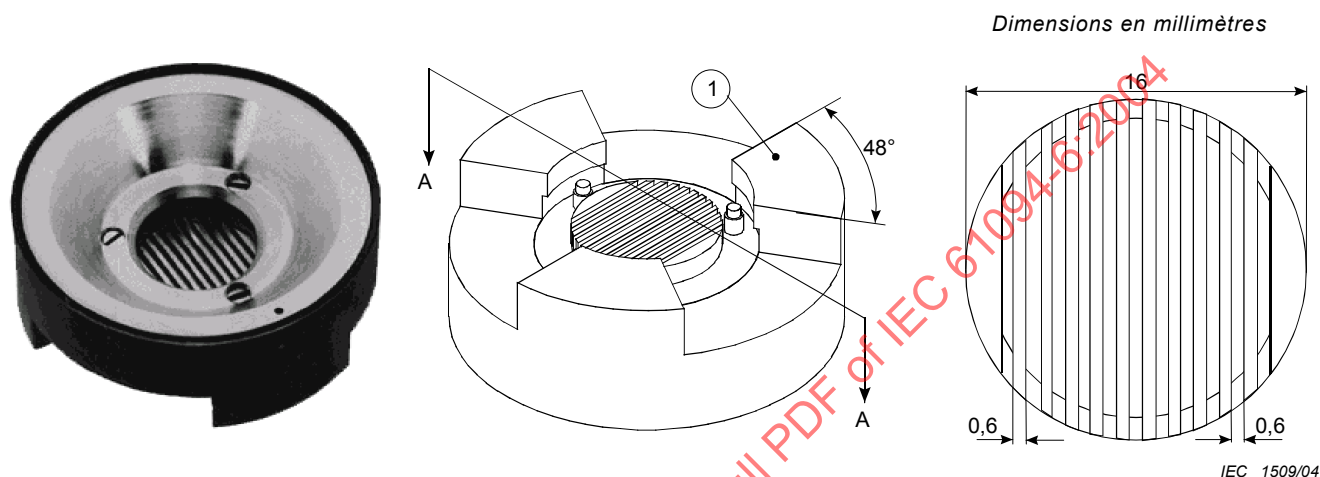
There are however no data available to correct the actuator response to obtain a pressure or free-field response of a microphone. However, in this frequency range the electrostatic actuator may be the only option available for determining a response of the microphone.

## Annexe A (informative)

### Exemples de réalisations de grilles d'entraînement

#### A.1 Grille pour les microphones de type WS1

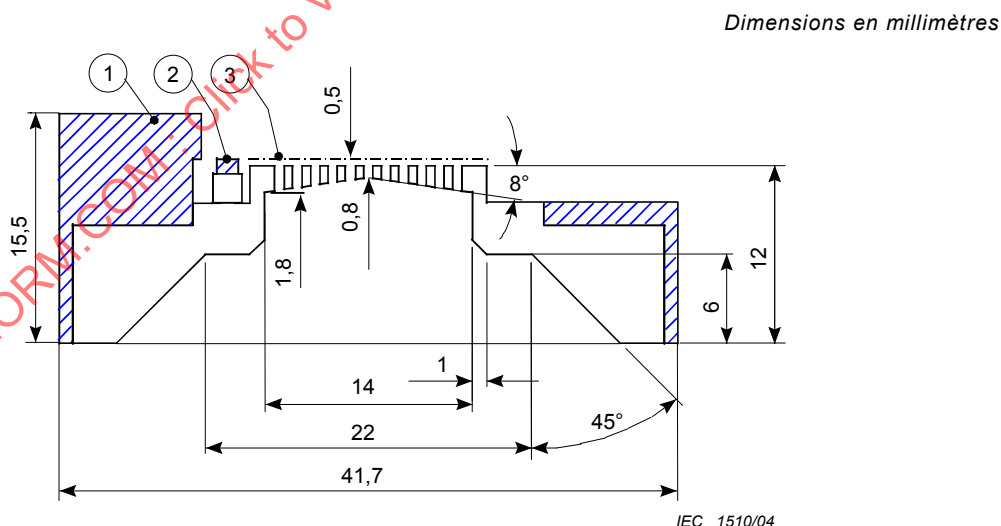
Un modèle de grille d'entraînement usuellement utilisé pour des microphones de type WS1 est représenté par la Figure A.1.



#### Légende

- 1 Trois guides de positionnement également répartis

**Figure A.1a – Représentations schématiques de la surface de la grille**



#### Légende

- 1 Guide de positionnement isolant  
2 Supports isolants ajustés de sorte que la distance entre la grille et la membrane soit de 0,5 mm  
3 Position de la membrane

**Figure A.1b – Coupe A – A**

**Figure A.1 – Exemple de grille d'entraînement pour les microphones de type WS1**

La grille peut être utilisée pour des microphones de plus petites dimensions en utilisant des adaptateurs mécaniques montés sur le microphone, de façon à simuler un microphone de type WS1.

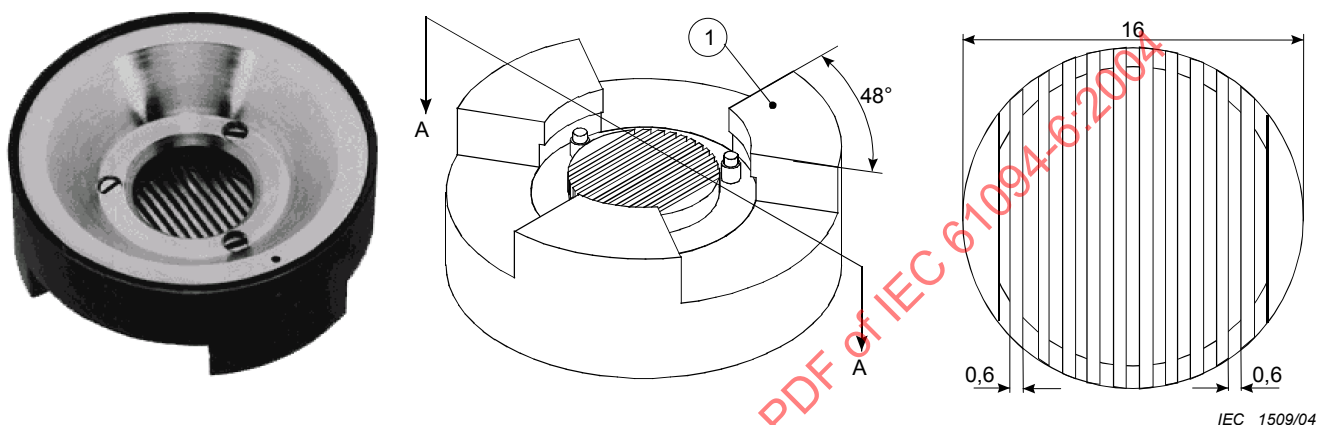
## Annex A (informative)

### Examples of electrostatic actuator designs

#### A.1 Actuator for type WS1 microphones

A commonly used design of an electrostatic actuator for type WS1 microphones is shown in Figure A.1.

*Dimensions in millimetres*



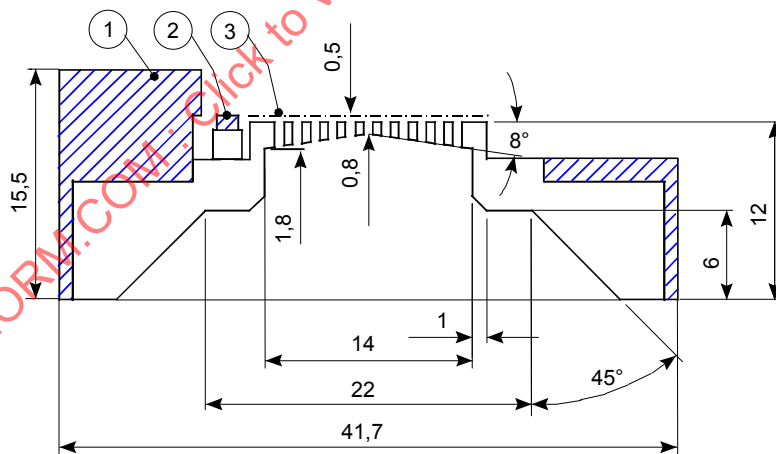
IEC 1509/04

#### Key

- 1 One of three equally spaced positioning guides

**Figure A.1a – Actuator surface pattern**

*Dimensions in millimetres*



IEC 1510/04

#### Key

- 1 Insulating positioning guide  
2 Insulating supports adjusted to an actuator to diaphragm distance of 0,5 mm  
3 Position of diaphragm

**Figure A.1b – Sectional view A – A**

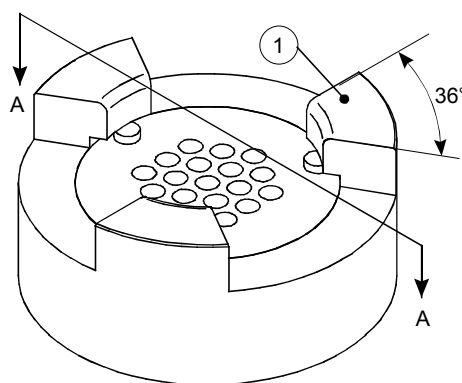
**Figure A.1 – Example of electrostatic actuator for type WS1 microphones**

The actuator may be used for microphones of smaller dimensions by using mechanical adaptors mounted on the microphones to simulate a WS1 microphone.

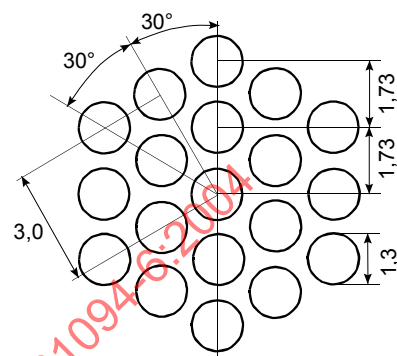


## A.2 Grille pour les microphones de type WS2

Un modèle de grille d'entraînement usuellement utilisé pour les microphones de type WS2 est représenté par la Figure A.2.



Dimensions en millimètres



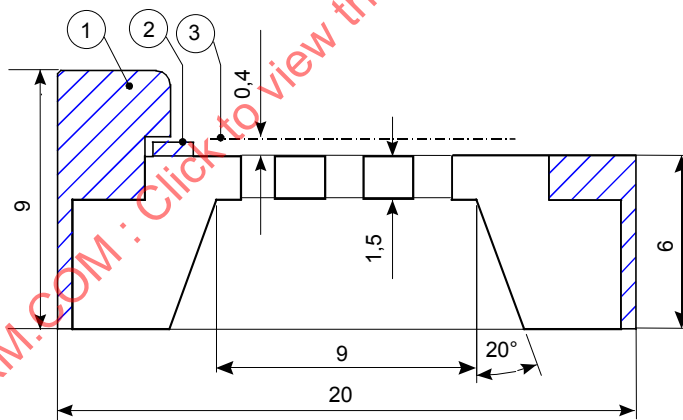
IEC 1511/04

### Légende

- 1 Un des trois guides de positionnement également répartis

**Figure A.2a – Représentation schématique de la surface de la grille en prenant pour origine le centre de la grille**

Dimensions en millimètres



IEC 1512/04

### Légende

- 1 Guide de positionnement isolant
- 2 Supports isolants ajustés de sorte que la distance entre la grille et la membrane soit de 0,4 mm
- 3 Position de la membrane

**Figure A.2b – Coupe A – A**

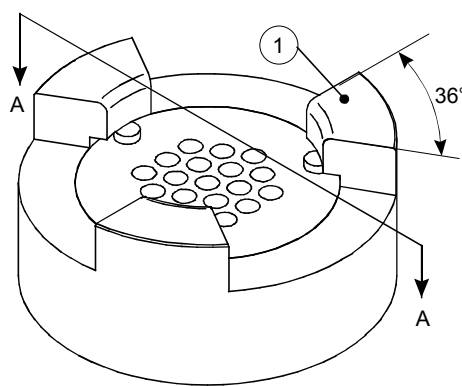
**Figure A.2 – Exemple de grille d'entraînement pour les microphones de type WS2**

La grille peut être utilisée pour des microphones de plus petites dimensions en utilisant des adaptateurs mécaniques montés sur le microphone de façon à simuler un microphone de type WS2.

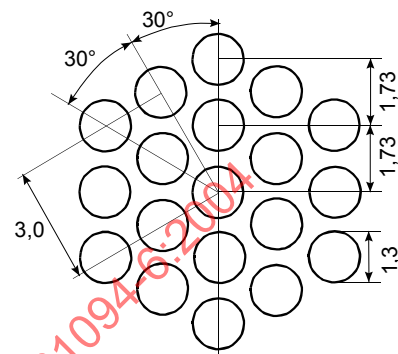


## A.2 Actuator for type WS2 microphones

A commonly used design of an electrostatic actuator for type WS2 microphones is shown in Figure A.2.



*Dimensions in millimetres*



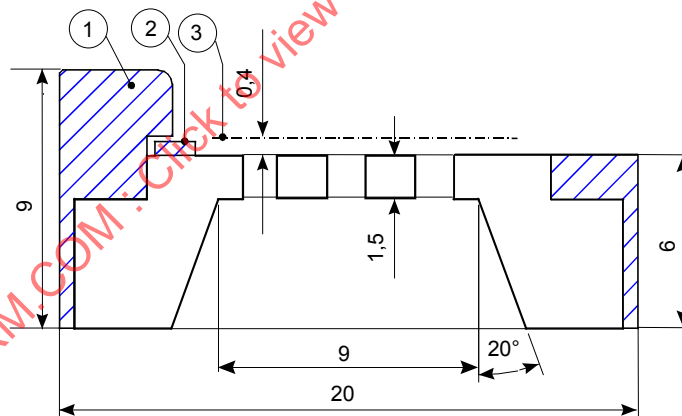
IEC 1511/04

### key

1 One of three equally spaced positioning guide

**Figure A.2a – Actuator surface pattern centrally positioned on the actuator**

*Dimensions in millimetres*



IEC 1512/04

### Key

- 1 Insulating positioning guide
- 2 Insulating supports adjusted to an actuator to diaphragm distance of 0,4 mm
- 3 Position of diaphragm

**Figure A.2b – Sectional view A – A**

**Figure A.2 – Example of an electrostatic actuator for type WS2 microphones**

The actuator may be used for microphones of smaller dimensions by using mechanical adaptors mounted on the microphones to simulate a WS2 microphone.

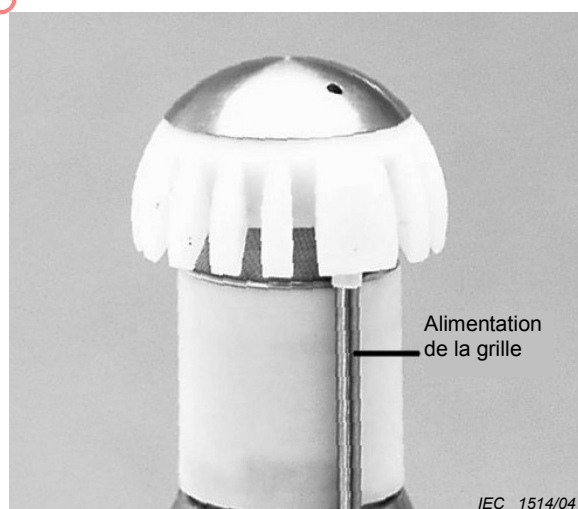
### A.3 Grilles faisant partie intégrante des grilles de protection

Des exemples de grilles faisant partie intégrante des grilles de protection de la membrane des microphones sont représentés ci-dessous par les Figures A.3 et A.4.



IEC 1513/04

**Figure A.3 – Exemples de grilles d'entraînement faisant partie intégrante des grilles de protection des microphones**



IEC 1514/04

**Figure A.4 – Exemple de grille d'entraînement combinée à une grille de protection contre la pluie**

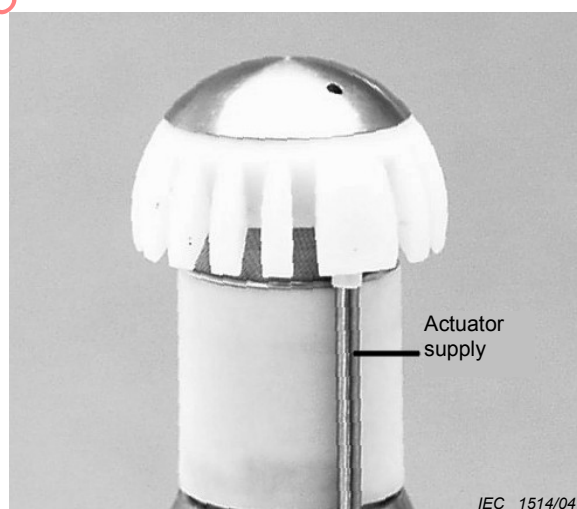
### A.3 Actuators forming integral parts of protection grids

Examples of actuators forming integral parts of microphone diaphragm protection grids are shown below in Figures A.3 and A.4.



IEC 1513/04

**Figure A.3 – Examples of electrostatic actuators forming integral parts of the microphone protection grids**



IEC 1514/04

**Figure A.4 – Example of an electrostatic actuator combined with weather-resistant protection**

## Annexe B (informative)

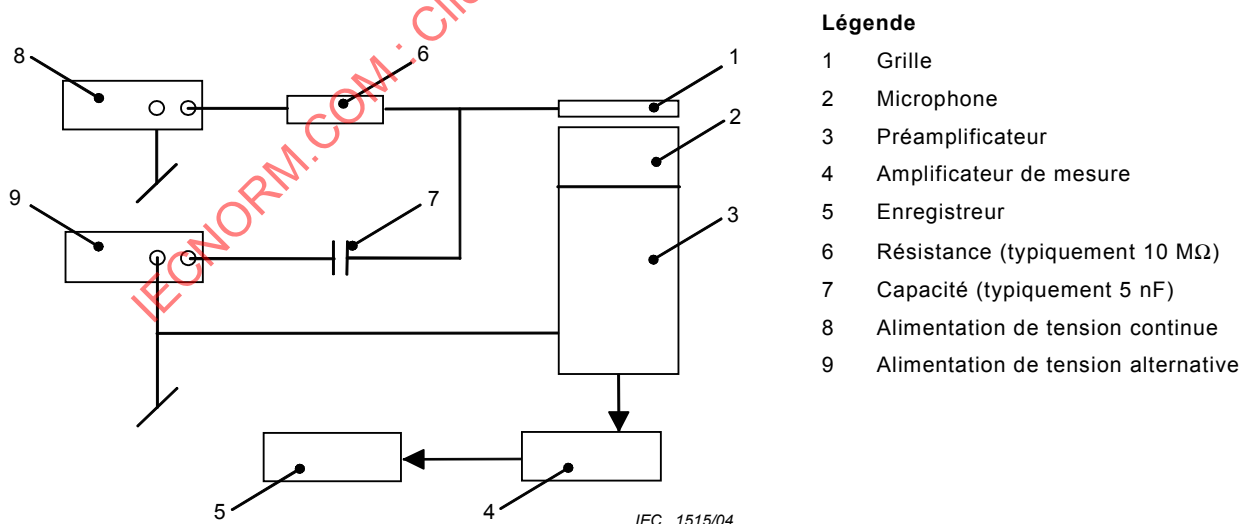
### Dispositif de mesure pour la réponse à la grille d'entraînement

La Figure B.1 montre un dispositif typique pour la mesure de la réponse en fréquence à la grille d'entraînement. La grille d'entraînement est reliée aux sources de tension alternative et continue respectivement par l'intermédiaire d'un condensateur et d'une résistance. Il convient de choisir l'impédance des composants électriques de façon que la tension alternative ne soit pas atténuée de manière significative pour la plus basse fréquence concernée. Le taux de distorsion harmonique de la pression acoustique équivalente est déterminé par le rapport de la tension alternative à la tension continue, voir l'Equation (7). Si la valeur efficace totale de la tension de sortie du microphone est mesurée, il convient que la tension continue appliquée soit au moins 10 fois plus grande que la tension alternative. Il convient également de tenir compte de la sécurité de l'opérateur en choisissant des tensions et des impédances des composants appropriées.

La combinaison d'une tension alternative relativement élevée appliquée à la grille et d'une tension de sortie du microphone relativement faible implique un risque important d'erreurs de mesure dues à la diaphonie. Cela est particulièrement important pour des microphones ayant une faible efficacité et pour les étalonnages effectués aux fréquences élevées.

Pour les microphones à polarisation externe, la diaphonie peut être vérifiée en amenant la tension délivrée par la source de polarisation du microphone à 0 V. Pour les microphones pré-polarisés, il convient que la tension continue de la grille soit amenée à 0 V. Il convient que le niveau de sortie du microphone correspondant au signal alternatif chute alors de 50 dB ou plus dans tout le domaine de fréquences. Si la chute de tension est de 50 dB, l'erreur de mesure peut atteindre 0,03 dB mais elle dépendra fortement de l'angle de phase entre les composantes souhaitées et non désirées du signal.

La diaphonie peut être réduite par une sélection appropriée des points de connexion à la masse et par un câblage convenable entre les instruments utilisés.



**Figure B.1 – Dispositif typique destiné à mesurer la réponse en fréquence à la grille d'entraînement d'un microphone**

Il convient d'effectuer les mesures dans un environnement acoustique convenable. Il convient que le bruit ambiant soit conservé bien en dessous de la pression électrostatique appliquée (voir l'Equation (4)) afin de réduire son influence dans les mesures. Il convient aussi d'éviter les surfaces proches susceptibles de produire un champ acoustique réfléchi important à l'emplacement du microphone.