

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 402

Première édition — First edition

1972

**Méthode simplifiée pour l'étalonnage en pression des microphones
à condensateur d'un pouce par la technique de la réciprocité**

**Simplified method for pressure calibration of one-inch condenser
microphones by the reciprocity technique**



Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembe

Genève, Suisse

IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60402:1972

Withdrawn

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

(affiliée à l'Organisation Internationale de Normalisation — ISO)

RECOMMANDATION DE LA CEI

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

(affiliated to the International Organization for Standardization — ISO)

IEC RECOMMENDATION

Publication 402

Première édition — First edition

1972

**Méthode simplifiée pour l'étalonnage en pression des microphones
à condensateur d'un pouce par la technique de la réciprocité**

**Simplified method for pressure calibration of one-inch condenser
microphones by the reciprocity technique**



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.

Bureau Central de la Commission Electrotechnique Internationale

1, rue de Varembé

Genève, Suisse

SOMMAIRE

	Pages
PRÉAMBULE	4
PRÉFACE	4
Articles:	
1. Domaine d'application.	6
2. Objet	6
3. Explication des termes	6
3.1 Tension à circuit ouvert	6
3.2 Efficacité en pression d'un microphone.	6
3.3 Impédance électrique d'un microphone.	8
3.4 Impédance acoustique d'un microphone	8
3.5 Volume équivalent d'un microphone.	8
3.6 Coupleur	8
3.7 Impédance électrique de transfert	8
3.8 Impédance acoustique de transfert.	10
4. Technique d'étalonnage	10
4.1 Généralités.	10
4.2 Technique de la tension insérée	10
4.3 Impédance acoustique de transfert.	10
5. Conditions générales d'étalonnage.	12
5.1 Bruit	12
5.2 Blindage	12
5.3 Conditions relatives au coupleur	12
5.4 Gamme de fréquences	12
5.5 Tension de polarisation	12
5.6 Tension maximale du générateur	14
6. Mesures	14
6.1 Généralités	14
6.2 Tension à circuit ouvert	14
6.3 Courant d'entrée	14
6.4 Première fréquence de résonance longitudinale	14
6.5 Efficacité en pression	14
ANNEXE I — Microphones réciproques	18
ANNEXE II — Détermination de la précision globale de l'étalonnage	24
FIGURES	26

CONTENTS

	Pages
FOREWORD	5
PREFACE	5
Clause:	
1. Scope	7
2. Object	7
3. Explanation of terms	7
3.1 Open-circuit voltage	7
3.2 Pressure sensitivity of a microphone	7
3.3 Electrical impedance of a microphone	9
3.4 Acoustic impedance of a microphone	9
3.5 Equivalent volume of a microphone	9
3.6 Coupler	9
3.7 Electrical transfer impedance	9
3.8 Acoustic transfer impedance	11
4. Calibration technique	11
4.1 General	11
4.2 Insert-voltage technique	11
4.3 Acoustic transfer impedance	11
5. General calibration conditions	13
5.1 Noise	13
5.2 Ground-shield	13
5.3 Coupler requirements	13
5.4 Frequency range	13
5.5 Polarizing voltage	13
5.6 Maximum generator voltage	15
6. Measurements	15
6.1 General	15
6.2 Open-circuit voltage	15
6.3 Input current	15
6.4 First longitudinal resonance frequency	15
6.5 Pressure sensitivity	15
APPENDIX I — Reciprocal microphones	19
APPENDIX II — Determination of the overall accuracy of calibration	25
FIGURES	27

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**MÉTHODE SIMPLIFIÉE POUR L'ÉTALONNAGE EN PRESSION
DES MICROPHONES A CONDENSATEUR D'UN POUCE
PAR LA TECHNIQUE DE LA RÉCIPROCITÉ**

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la CEI en ce qui concerne les questions techniques, préparés par des Comités d'Etudes où sont représentés tous les Comités nationaux s'intéressant à ces questions, expriment dans la plus grande mesure possible un accord international sur les sujets examinés.
- 2) Ces décisions constituent des recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux.
- 3) Dans le but d'encourager l'unification internationale, la CEI exprime le vœu que tous les Comités nationaux adoptent dans leurs règles nationales le texte de la recommandation de la CEI, dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Toute divergence entre la recommandation de la CEI et la règle nationale correspondante doit, dans la mesure du possible, être indiquée en termes clairs dans cette dernière.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Sous-Comité 29C: Dispositifs de mesure, du Comité d'Etudes N° 29 de la CEI: Electroacoustique.

Conformément à une décision prise lors de la réunion tenue à Stresa en 1969, un projet fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en août 1969. Ce projet fut modifié par un second document soumis aux Comités nationaux en 1971, pour approbation suivant la Procédure des Deux Mois.

Les pays suivants se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

Afrique du Sud	Pays-Bas
Allemagne	Roumanie
Belgique	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
France	Tchécoslovaquie
Italie	Turquie
Japon	Union des Républiques
Norvège	Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**SIMPLIFIED METHOD FOR PRESSURE CALIBRATION OF ONE-INCH
CONDENSER MICROPHONES BY THE RECIPROCITY TECHNIQUE**

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the IEC on technical matters, prepared by Technical Committees on which all the National Committees having a special interest therein are represented, express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the subjects dealt with.
- 2) They have the form of recommendations for international use and they are accepted by the National Committees in that sense.
- 3) In order to promote international unification, the IEC expresses the wish that all National Committees should adopt the text of the IEC recommendation for their national rules in so far as national conditions will permit. Any divergence between the IEC recommendations and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

PREFACE

This recommendation has been prepared by Sub-committee 29C, Measuring Devices, of IEC Technical Committee No. 29, Electro-acoustics.

In accordance with a decision taken at the Stresa meeting in 1969, a draft was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in August 1969. This draft was amended by a second document submitted to the National Committees in 1971 for approval under the Two Months' Procedure.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Belgium	Romania
Czechoslovakia	South Africa
Denmark	Sweden
France	Switzerland
Germany	Turkey
Italy	Union of Soviet
Japan	Socialist Republics
Netherlands	United Kingdom
Norway	United States of America

MÉTHODE SIMPLIFIÉE POUR L'ÉTALONNAGE EN PRESSION DES MICROPHONES A CONDENSATEUR D'UN POUCE PAR LA TECHNIQUE DE LA RÉCIPROCITÉ

1. Domaine d'application

Cette recommandation décrit une technique simplifiée pour l'étalonnage de capsules microphoniques à condensateur habituellement appelées microphones d'un pouce, fondée sur l'étalonnage en pression par la méthode de la réciprocité à l'aide d'un coupleur.

2. Objet

L'objet de cette recommandation est de spécifier une méthode d'étalonnage absolu en pression des microphones à condensateur d'un pouce, utilisés dans les laboratoires pour des mesures classiques, lorsque la précision la plus grande n'est pas recherchée. La gamme de fréquences de l'étalonnage est limitée de 50 Hz à 10 kHz.

La méthode d'étalonnage décrite est fondée sur la technique de la réciprocité et utilise une cavité fermée remplie d'air en tant que moyen de couplage entre les microphones. Cette méthode d'étalonnage est simplifiée — aux dépens de la précision totale — afin que l'étalonnage puisse être mené à bien sans utiliser un appareillage et les techniques les plus avancées. On estime que l'erreur introduite en utilisant cette méthode simplifiée est inférieure à 0,3 dB.

Des méthodes d'étalonnage donnant une précision plus élevée sont décrites dans la Publication 327 de la CEI: Méthode de précision pour l'étalonnage en pression des microphones étalons à condensateur d'un pouce par la technique de la réciprocité.

3. Explication des termes

3.1 Tension à circuit ouvert

La tension à circuit ouvert d'un microphone à une fréquence donnée est la tension apparaissant à ses bornes électriques quand le microphone n'est pas chargé.

Cependant, en raison de la nature capacitive de la capsule, la tension aux bornes dépendra de la charge électrique constituée par le montage mécanique du microphone. Ainsi, au sens de ce document, la tension à circuit ouvert est définie comme étant la tension apparaissant aux bornes électriques de la capsule mesurée par la technique de la tension insérée quand le microphone est relié au blindage de référence de la CEI, mais n'est pas chargé par ailleurs (voir paragraphe 5.2).

Unité: le volt. V

3.2 Efficacité en pression d'un microphone

L'efficacité en pression M_p d'un microphone à une fréquence donnée et pour une onde sinusoïdale est le rapport de la tension à circuit ouvert du microphone à la pression acoustique qui existe sur la face exposée de sa membrane, c'est-à-dire aux bornes acoustiques du microphone, la pression acoustique étant uniformément appliquée sur la surface de la membrane. Ce rapport est une quantité complexe, mais lorsqu'on n'attache pas d'importance à la phase, l'efficacité en pression peut être donnée par le module seulement.

Unité: le volt par pascal. V/Pa ($1 \text{ Pa} = 10 \text{ dyn} \cdot \text{cm}^{-2} = 10 \mu \text{ bar}$)

Notes 1. — On a omis l'indice U du symbole préférentiel M_{pU} puisque, dans toute cette recommandation, l'efficacité en pression est exprimée en fonction de la tension à circuit ouvert.

2. — Il y a lieu de noter que le terme « réponse en pression » est parfois utilisé à la place de « efficacité en pression ».

SIMPLIFIED METHOD FOR PRESSURE CALIBRATION OF ONE-INCH CONDENSER MICROPHONES BY THE RECIPROCITY TECHNIQUE

1. Scope

This recommendation describes a simplified technique for calibration of condenser microphone cartridges, commonly known as one-inch microphones, based upon reciprocity pressure calibration by the coupler method.

2. Object

The object of this recommendation is to specify a method of absolute pressure calibration of one-inch condenser microphones used in laboratories for conventional measuring purposes, without requiring the highest obtainable accuracy. The frequency range of the calibration is restricted to ± 0 Hz-10 kHz.

The calibration method described is based on the reciprocity technique using air in a closed cavity as the coupling medium between the microphones. The calibration procedure is simplified — at the expense of the total accuracy of the calibration — in order that the calibration can be carried out without using the most advanced instrumentation and techniques. The error introduced by using this simplified method is estimated to be less than 0.3 dB.

Procedures giving a higher accuracy of calibration are described in IEC Publication 327: Precision Method for Pressure Calibration of One-inch Standard Condenser Microphones by the Reciprocity Technique.

3. Explanation of terms

3.1 Open-circuit voltage

The open-circuit voltage of a microphone at a given frequency is the voltage appearing at its electrical terminals when the microphone is electrically unloaded.

However, owing to the capacitive nature of the cartridge, the voltage at the electrical terminals will depend on the electrical load caused by the mechanical attachment to the microphone. Thus, for the purpose of this document, the open-circuit voltage is defined as the voltage appearing at the electrical terminals of the cartridge as measured by the insert-voltage technique, when the microphone is connected to the IEC ground-shield reference configuration, but is otherwise unloaded (see Sub-clause 5.2).

Unit: volt. — V

3.2 Pressure sensitivity of a microphone

The pressure sensitivity M_p of a microphone, at a given frequency and for a sinusoidal waveform, is the ratio of the open-circuit voltage of the microphone to the sound pressure that exists at the exposed surface of the diaphragm (i.e. at the acoustical terminals of the microphone), the sound pressure being uniformly applied over the surface of the diaphragm. This ratio is a complex quantity but when the phase information is of no interest the pressure sensitivity may denote its modulus only.

Unit: volt per pascal. — V/Pa ($1 \text{ Pa} = 10 \text{ dyn} \cdot \text{cm}^{-2} = 10 \mu \text{ bar}$)

Notes 1. — The subscript U is omitted from the preferred symbol M_{pU} since the sensitivity is expressed in terms of open-circuit voltage throughout this recommendation.

2. — It should be noted that the term “pressure response” is sometimes used instead of “pressure sensitivity”.

3.2.1 Niveau d'efficacité en pression d'un microphone

Le niveau d'efficacité en pression relatif à une efficacité de référence M_r est défini par la formule $20 \log_{10} \left| \frac{M_p}{M_r} \right|$ dans laquelle $M_r = 1 \text{ V/Pa}$.

Unité: le décibel. dB

3.3 Impédance électrique d'un microphone

L'impédance électrique d'un microphone à une fréquence donnée est le rapport complexe de la tension appliquée à ses bornes électriques au courant qui en résulte.

Unité: l'ohm. Ω

Note. — Cette impédance est fonction de la charge acoustique sur la membrane et de la configuration du blindage.

3.4 Impédance acoustique d'un microphone

Pour les besoins de cette recommandation, l'impédance acoustique d'un microphone à une fréquence donnée est le rapport complexe de la pression acoustique uniformément répartie sur toute la surface de la membrane au flux de vitesse à travers cette surface, les bornes électriques n'étant pas chargées.

Unité: le pascal par mètre cube par seconde. $\text{Pa}/(\text{m}^3 \text{ s}^{-1})$

3.5 Volume équivalent d'un microphone

Il est pratique, pour l'étalonnage par la méthode de la réciprocité à l'aide d'un coupleur, d'exprimer l'impédance acoustique d'un microphone au moyen d'un volume complexe équivalent V_e d'un gaz enfermé dans une cavité rigide, selon l'équation suivante:

$$V_e = \frac{\kappa p_s}{j\omega Z_a}$$

où: κ est le rapport de la capacité calorifique spécifique à pression constante à celle à volume constant,

p_s est la pression statique,

ω est la pulsation,

Z_a est l'impédance acoustique du microphone.

Unité: le mètre cube. m^3

Notes 1. — Le volume équivalent sera généralement une quantité complexe et une fonction de la fréquence.

2. — Pour de l'air sec à 20 °C et pour $p_s = 10^5 \text{ Pa}$, $\kappa = 1,402$.

3.6 Coupleur

Pour les besoins de cette recommandation, on entend par coupleur un dispositif qui, monté avec deux microphones, constitue une cavité fermée de forme et de dimensions prédéterminées et qui agit comme élément de couplage acoustique entre les deux microphones.

3.7 Impédance électrique de transfert

Pour les besoins de cette recommandation, il est convenu de définir l'impédance électrique de transfert pour un système de deux microphones couplés acoustiquement comme le rapport de la tension à circuit ouvert du microphone utilisé comme récepteur au courant d'entrée du microphone utilisé comme émetteur sonore.

Note. — Cette impédance est fonction de la configuration du blindage.

3.2.1 *Pressure sensitivity level of a microphone*

The pressure sensitivity level relative to a reference sensitivity M_r is defined as $20 \log_{10} \left| \frac{M_p}{M_r} \right|$ where M_r is 1 V/Pa.

Unit: decibel. dB

3.3 *Electrical impedance of a microphone*

The electrical impedance of a microphone at a given frequency is the complex ratio of the voltage applied across its electrical terminals to the resulting current.

Unit: ohm. Ω

Note. — This impedance is a function of the acoustic loading on the diaphragm and the ground-shield configuration.

3.4 *Acoustic impedance of a microphone*

For the purpose of this recommendation, the acoustic impedance of a microphone at a given frequency is the complex ratio of the sound pressure to the volume velocity of the diaphragm, the sound pressure being uniformly applied to the diaphragm and the electrical terminals being unloaded.

Unit: pascal per cubic metre per second. $\text{Pa}/(\text{m}^3 \text{ s}^{-1})$

3.5 *Equivalent volume of a microphone*

In dealing with reciprocity calibration with a coupler it is convenient to express the acoustic impedance of a microphone in terms of an equivalent complex volume V_e of a gas enclosed in a rigid cavity according to the following equation:

$$V_e = \frac{\kappa p_s}{j\omega Z_a}$$

where: κ is the ratio of the specific heat capacity at constant pressure to that at constant volume,

p_s is the static pressure,

ω is the angular frequency,

Z_a is the acoustic impedance of the microphone.

Unit: cubic metre. m^3

Notes 1. — The equivalent volume will generally be a complex quantity and a function of frequency.

2. — For dry air at 20 °C and $p_s = 10^5 \text{ Pa}$, $\kappa = 1.402$.

3.6 *Coupler*

For the purpose of this recommendation, a coupler means a device which, when fitted with two microphones, forms a closed cavity of predetermined shape and dimensions and acts as an acoustical coupling element between the two microphones.

3.7 *Electrical transfer impedance*

For the purpose of this recommendation the electrical transfer impedance for a system of two acoustically coupled microphones shall be understood as the ratio of the open-circuit voltage of the microphone used as a receiver to the input current of the microphone used as a sound transmitter.

Note. — This impedance is a function of the ground-shield configuration.

3.8 *Impédance acoustique de transfert*

Pour les besoins de cette recommandation, l'impédance acoustique de transfert d'un système de deux microphones couplés acoustiquement est le rapport de la pression acoustique agissant sur la membrane du microphone utilisé comme récepteur au flux de vitesse en court-circuit (c'est-à-dire le flux de vitesse lorsque la charge acoustique est nulle) de la membrane du microphone utilisé comme émetteur sonore.

4. **Technique d'étalonnage**

4.1 *Généralités*

Un étalonnage de microphones par la méthode de la réciprocité peut être effectué soit au moyen de trois microphones, deux d'entre eux devant être réciproques, soit au moyen d'une source sonore auxiliaire et de deux microphones dont l'un doit être réciproque.

4.1.1 *Principes de la méthode utilisant trois microphones*

Considérons deux de ces microphones couplés acoustiquement à l'aide d'un coupleur. Utilisons l'un d'entre eux comme source sonore et l'autre comme récepteur. On mesure le rapport de la tension de sortie à circuit ouvert du récepteur au courant d'entrée de l'émetteur. Lorsque l'impédance acoustique de transfert du système est connue, le produit des efficacités en pression des deux microphones couplés peut être déterminé. En effectuant des combinaisons des microphones pris deux à deux, on obtient trois de ces produits indépendants mutuellement, desquels on peut déduire l'expression de l'efficacité en pression pour chacun des trois microphones (voir annexe I).

4.1.2 *Principes généraux de la méthode utilisant deux microphones et une source sonore auxiliaire*

Ces deux microphones sont d'abord associés par un coupleur et le produit des efficacités en pression de ces deux microphones couplés est déterminé (voir paragraphe 4.1.1). Ensuite, les deux microphones sont soumis à la même pression acoustique fournie par la source sonore auxiliaire. Le rapport des deux tensions de sortie sera alors égal au rapport des deux efficacités en pression. Ainsi, à partir du produit et du rapport des efficacités en pression des deux microphones, on peut déduire une expression donnant l'efficacité en pression de chacun d'entre eux.

Note. — Dans le but d'obtenir le rapport des efficacités en pression, une méthode de comparaison directe a été le plus généralement employée, mais une méthode de comparaison mettant en œuvre un coupleur ayant des parois actives, par exemple en céramique piézo-électrique, a aussi été utilisée.

4.2 *Technique de la tension insérée*

La technique de la tension insérée (ou méthode de substitution) est utilisée pour déterminer la tension à circuit ouvert d'un microphone lorsque celui-ci est chargé électriquement. Considérons un microphone ayant une impédance interne et une tension de circuit ouvert données, relié à une impédance de charge. Afin de mesurer la tension à circuit ouvert, une impédance faible par rapport à l'impédance de charge est mise en série avec le microphone et une tension d'étalonnage lui est appliquée (voir figure 1, page 26). Appliquons alternativement une pression acoustique et une tension d'étalonnage de même fréquence. On ajuste la tension d'étalonnage jusqu'à ce qu'elle donne la même chute de tension à travers l'impédance de charge que celle qui résulte de l'application de la pression acoustique sur le microphone. La tension d'étalonnage sera alors égale en amplitude à la tension à circuit ouvert.

4.3 *Impédance acoustique de transfert*

Dans la gamme des fréquences moyennes, la détermination de l'impédance acoustique de transfert nécessite seulement une mesure du volume effectif du coupleur et de la pression statique (voir annexe I, équation 3).

3.8 *Acoustic transfer impedance*

For the purpose of this recommendation, the acoustic transfer impedance of a system of two acoustically coupled microphones is the ratio of the sound pressure acting on the diaphragm of the microphone used as a receiver to the short-circuit volume velocity (i.e. the volume velocity into zero acoustic load) of the diaphragm of the microphone used as a sound transmitter.

4. **Calibration technique**

4.1 *General*

A reciprocity calibration of microphones may be carried out either by means of three microphones, two of which must be reciprocal, or by means of an auxiliary sound source and two microphones one of which must be reciprocal.

4.1.1 *General principles using three microphones*

Let two of the microphones be coupled by the coupler. Using one of them as a sound source and the other as sound receiver, the ratio of the output open-circuit voltage of the receiver to the input current of the transmitter is measured. When the acoustic transfer impedance of the system is known, the product of the pressure sensitivities of the two coupled microphones can be determined. Using combinations of pairs of microphones, three such mutually independent products are available, from which an expression for the pressure sensitivity of each of the three microphones can be derived (see Appendix I).

4.1.2 *General principles using two microphones and an auxiliary sound source*

First let the two microphones be coupled by a coupler, and the product of the pressure sensitivities of the two microphones be determined (see Sub-clause 4.1.1). Next let the two microphones be presented to the same sound pressure, set up by the auxiliary sound source. The ratio of the two output voltages will then be the ratio of the two pressure sensitivities. Thus, from the product and the ratio of the pressure sensitivities of the two microphones an expression for the pressure sensitivity of each of the two microphones can be derived.

Note. — In order to obtain the ratio of pressure sensitivities a direct comparison method has been most widely employed, but comparison involving an active-walled coupler, for example piezoelectric ceramic, has also been used.

4.2 *Insert-voltage technique*

The insert-voltage technique (also referred to as the substitution method) is used to determine the open-circuit voltage of a microphone when it is electrically loaded. Let a microphone having a certain open-circuit voltage and internal impedance be connected to a load impedance. To measure the open-circuit voltage an impedance, small compared with the load impedance, is connected in series with the microphone and a calibrating voltage applied across it (see Figure 1, page 27). Let a sound pressure and a calibrating voltage of the same frequency be applied alternately. When the calibrating voltage is adjusted until it gives the same voltage drop across the load impedance as results from the sound pressure on the microphone, the open-circuit voltage will be equal in magnitude to the calibrating voltage.

4.3 *Acoustic transfer impedance*

In the mid-frequency range, the determination of the acoustic transfer impedance requires only a measurement of the effective volume of the coupler and the static pressure (see Appendix I, equation 3).

Aux fréquences plus basses, le volume du coupleur subit un accroissement apparent dû à la conduction thermique. De la même façon, l'effet de shunt du tube égaliseur de pression peut être significatif. En restreignant le domaine de fréquences de l'étalonnage (voir paragraphe 5.4), il n'est pas nécessaire de prendre ces effets en considération.

Aux fréquences plus élevées, la pression acoustique ne restera pas la même en tous les points à l'intérieur du coupleur et ceci affectera l'impédance acoustique de transfert. La variation de l'impédance acoustique des microphones par rapport à la fréquence influencera aussi l'impédance acoustique de transfert. Pour le coupleur de la figure 3, page 26, ces effets sont pris en considération en introduisant un seul facteur de correction Δ (voir tableau 1) dans l'expression finale de l'efficacité en pression. Comme l'utilisation du coupleur de la figure 4, page 28, est limitée au domaine de fréquences dans lequel la pression acoustique est réellement uniforme dans tout le volume (voir paragraphe 5.4), l'impédance acoustique de transfert peut être directement déterminée à partir de l'équation 3 de l'annexe I.

5. Conditions générales d'étalonnage

5.1 Bruit

Le bruit ou toute influence parasite, telle que la diaphonie, qu'il soit d'origine acoustique ou électrique, affectera la précision de la détermination de l'impédance acoustique de transfert. Pour cette raison, le niveau de diaphonie doit être inférieur d'au moins 45 dB au niveau du signal électrique mesuré et le rapport signal à bruit doit être au moins égal à 30 dB.

5.2 Blindage

Afin de se conformer au paragraphe 3.1 sur la mesure de la tension à circuit ouvert, chaque microphone doit être relié, pendant l'étalonnage, à un blindage dont la configuration de référence est donnée à la figure 2, page 26. Le blindage doit être mis à la masse ou à un potentiel déterminé (asservi).

Note. — Si le constructeur spécifie une valeur maximale pour la force à appliquer au contact électrique central du microphone, cette valeur limite ne devra pas être dépassée.

5.3 Conditions relatives au coupleur

Si on désire effectuer un étalonnage dans une gamme de fréquences étendue (voir paragraphe 5.4), on doit utiliser le coupleur montré à la figure 3. Cependant, quand on désire seulement un étalonnage dans la gamme des basses et moyennes fréquences, on peut obtenir une meilleure précision en utilisant le coupleur indiqué à la figure 4.

Les deux coupleurs doivent être faits d'un matériau suffisamment rigide et être usinés avec le plus grand soin pour que les tolérances données aux figures 3 et 4 soient satisfaites.

L'emplacement des tubes égaliseurs de pression, aux figures 3 et 4, peut être choisi à la convenance de l'expérimentateur. Leurs dimensions doivent être choisies de manière que, aux fréquences les plus basses dont on a besoin, la tension de sortie du microphone récepteur ne varie pas de plus de 0,1 dB quand le tube égaliseur de pression est obstrué.

Note. — Pendant l'étalonnage, il faut s'assurer qu'il n'y ait aucune fuite d'air incontrôlable. On peut éviter une telle fuite en recouvrant les surfaces de contact des microphones et du coupleur d'une petite quantité de graisse.

5.4 Gamme de fréquences

La gamme de fréquences de l'étalonnage est comprise entre 200 Hz et 10 kHz quand on utilise le coupleur de la figure 3 et entre 50 Hz et 3 kHz quand on utilise le coupleur de la figure 4.

5.5 Tension de polarisation

A moins d'indication contraire, la tension de polarisation pendant l'étalonnage doit être 200 V. La tolérance doit être $\pm 0,5\%$.

Note. — Il est recommandé de mesurer cette tension directement aux bornes de la capsule.

At lower frequencies, the volume of the coupler undergoes an apparent increase due to heat conduction. Also the shunting effect of the pressure equalizing tube may be significant. By restricting the frequency range of the calibration (see Sub-clause 5.4), these effects need not be taken into account.

At higher frequencies, the sound pressure inside the coupler will no longer be the same at all points and this will influence the acoustic transfer impedance. The variation of the acoustic impedance of the microphone with respect to frequency will also influence the acoustic transfer impedance. For the coupler shown in Figure 3, page 27, these effects are taken into account by introducing a single correction factor Δ (see Table 1) in the final expression for the pressure sensitivity. As the use of the coupler shown in Figure 4, page 29, is restricted to a frequency range (see Sub-clause 5.4) in which the sound pressure is substantially uniform throughout the volume, the acoustic transfer impedance can be determined directly from equation 3 of Appendix I.

5. General calibration conditions

5.1 Noise

Noise and other interference, such as cross-talk, whether of acoustical or electrical origin, will affect the accuracy of the determination of the electrical transfer impedance. For this reason, the level of cross-talk shall be at least 45 dB less than the level of the electrical signal measured and the signal-to-noise ratio shall be at least 30 dB.

5.2 Ground-shield

During calibration, each microphone shall be connected to a ground-shield of the IEC reference configuration (shown in Figure 2, page 27) in order to comply with Sub-clause 3.1 on the measurement of open-circuit voltage. The shield may be grounded or driven.

Note. — Where the manufacturer specifies a maximum force to be applied to the central electrical contact of the microphone, this limit must not be exceeded.

5.3 Coupler requirements

When a calibration over a broad frequency range is required (see Sub-clause 5.4) the coupler shown in Figure 3, shall be used. However, when a calibration is required only at low and middle frequencies, higher accuracy can be obtained using the coupler shown in Figure 4.

Both couplers shall be made of a sufficiently rigid material and shall be manufactured with the utmost care in order to meet the tolerances specified in Figures 3 and 4.

The locations of the pressure-equalizing tubes in Figures 3 and 4 may be chosen to suit the individual arrangements. Their dimensions shall be chosen such that, at the lowest frequencies of interest, the output voltage of the receiving microphone is changed by less than 0.1 dB when the pressure-equalizing tube is blocked.

Note. — During the calibration it should be ascertained that no uncontrollable air leakage is present. Such leakage may be avoided by using a small amount of vacuum grease between the contact surfaces of microphones and coupler.

5.4 Frequency range

The frequency range of the calibration is restricted to 200 Hz-10 kHz, when the coupler shown in Figure 3 is used, and to 50 Hz-3 kHz when the coupler shown in Figure 4 is used.

5.5 Polarizing voltage

Unless otherwise stated, the polarizing voltage used during the calibration shall be 200 V. The tolerance shall be $\pm 0.5\%$.

Note. — It may be advisable to measure this voltage directly at the terminals of the cartridge.

5.6 Tension maximale du générateur

La valeur efficace de la tension alternative utilisée pour exciter le microphone émetteur ne doit pas dépasser 5% de la tension de polarisation.

6. Mesures

6.1 Généralités

L'étalonnage doit être réalisé en accord avec les conditions imposées à l'article 5.

6.2 Tension à circuit ouvert

La tension à circuit ouvert du microphone utilisé comme récepteur doit être mesurée par la technique de la tension insérée (voir paragraphe 4.2).

6.3 Courant d'entrée

Le courant à travers le microphone utilisé comme émetteur peut être déterminé par la mesure de la chute de tension aux bornes d'une impédance connue mise en série avec la capsule microphonique.

Pour s'assurer d'une mesure correcte, le microphone doit être relié au blindage de référence (voir paragraphe 5.2) et l'impédance connue, insérée entre le boîtier de la capsule microphonique et la masse. L'impédance insérée doit être petite comparée à celle du microphone afin de réduire l'influence du courant de fuite.

6.4 Première fréquence de résonance longitudinale

Quand on utilise le coupleur de la figure 3, page 26, on détermine la première fréquence longitudinale de résonance des ondes sonores dans le coupleur pour chaque combinaison des microphones. On effectue la mesure en observant la fréquence la plus basse pour laquelle la tension à circuit ouvert du microphone récepteur présente un maximum quand un signal de tension constante est appliqué au microphone émetteur.

Note. — Pour le coupleur recommandé ci-dessus, la première fréquence longitudinale de résonance se situera autour de 13,2 kHz.

6.5 Efficacité en pression

6.5.1 Expressions de l'efficacité en pression dans la méthode utilisant trois microphones

Quand on utilise le coupleur de la figure 3 pour l'étalonnage, l'efficacité en pression du microphone (a) — lorsque toutes les quantités sont exprimées en unités du Système International — est donnée par (voir annexe I, équation 6):

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{0,210 \Delta}{p_s} \cdot \frac{f}{f_0} \frac{|U_b/I_a| |U_a/I_c|}{|U_b/I_c|} \right)^{1/2}$$

où: $|U_b/I_a|$, $|U_a/I_c|$, $|U_b/I_c|$ sont les modules des impédances électriques de transfert des combinaisons respectives a-b, c-a et c-b des microphones mesurés successivement,

p_s est la pression statique,

f est la fréquence,

f_0 est la valeur moyenne des premières fréquences de résonance longitudinale pour les trois combinaisons de microphones,

Δ est le facteur de correction à prendre dans le tableau 1 (ces données sont en partie fondées sur des valeurs typiques d'impédances acoustiques de microphones).

5.6 *Maximum generator voltage*

The r.m.s. value of the alternating voltage used to excite the microphone employed as a sound source shall not exceed 5% of the polarizing voltage.

6. *Measurements*

6.1 *General*

The calibration shall be made under the conditions laid down in Clause 5.

6.2 *Open-circuit voltage*

The open-circuit voltage of the microphone used as receiver shall be measured by the insert voltage technique (see Sub-clause 4.2).

6.3 *Input current*

The current through the microphone used as sound source may be determined by measuring the voltage occurring across a known impedance connected in series with the microphone cartridge.

To ensure a correct measurement, the microphone shall be attached to the reference ground-shield (see Sub-clause 5.2) and the known impedance be inserted between the housing of the microphone cartridge and ground potential. The impedance inserted shall be small compared to that of the microphone in order to minimize the influence of leakage current.

6.4 *First longitudinal resonance frequency*

When the coupler shown in Figure 3, page 27, is used the first longitudinal resonance frequency of sound waves in the coupler is determined for each combination of microphones. The measurement is carried out by observing the lowest frequency at which a prominent maximum occurs in the open-circuit voltage of the microphone used as receiver, when a signal of constant voltage is applied to the microphone used as a transmitter.

Note. — For the coupler recommended, the first longitudinal resonance frequency will be about 15.2 kHz.

6.5 *Pressure sensitivity*

6.5.1 *Expressions for the pressure sensitivity when using three microphones*

When the coupler shown in Figure 3 is used for the calibration, the pressure sensitivity of microphone (a), all quantities being in SI units, is (see Appendix I, equation 6):

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{0.210 \Delta}{p_s} \cdot \frac{f}{f_0} \frac{|U_b/I_a| |U_a/I_c|}{|U_b/I_c|} \right)^{1/2}$$

where: $|U_b/I_a|$, $|U_a/I_c|$, $|U_b/I_c|$ are the moduli of the electrical transfer impedances of the combinations a-b, c-a and c-b respectively of the microphones, measured sequentially,

p_s is the static pressure,

f is the frequency,

f_0 is the mean value of the first longitudinal resonance frequencies for the three combinations of microphones,

Δ is the correction factor to be taken from Table 1 (these data are based partly on typical values of acoustic impedances of microphones).

Quand on utilise le coupleur de la figure 4, page 28, l'efficacité en pression du microphone (a) — lorsque toutes les quantités sont exprimées en unités du Système International — est donnée par (voir annexe I, équation 7):

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{8,90 \cdot 10^{-5} f}{p_s} \cdot \frac{|U_b/I_a| |U_a/I_c|}{|U_b/I_c|} \right)^{1/2}$$

6.5.2 Expressions de l'efficacité en pression dans la méthode utilisant deux microphones et une source sonore auxiliaire

Quand on utilise le coupleur de la figure 3, page 26, pour l'étalonnage, l'efficacité en pression du microphone (a) — lorsque toutes les quantités sont exprimées en unités du Système International — est donnée par:

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{0,210 \Delta}{p_s} \cdot \frac{f}{f_0} |U_b/I_a| |U_a/U_b| \right)^{1/2}$$

où: $|U_a/U_b| = |M_p^{(a)}/M_p^{(b)}|$ (voir paragraphe 4.1.2).

Quand on utilise le coupleur de la figure 4 pour l'étalonnage, l'efficacité en pression du microphone (a) — lorsque toutes les quantités sont exprimées en unités du Système International — est donnée par:

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{8,90 \cdot 10^{-5} f}{p_s} \cdot |U_b/I_a| |U_a/U_b| \right)^{1/2}$$

TABLEAU I

Tableau des valeurs du facteur de correction Δ ,
à employer quand on utilise le coupleur de la figure 3

Fréquence réduite f/f_0	Δ
0,02	1,096
0,05	1,094
0,10	1,079
0,15	1,052
0,20	1,012
0,25	0,959
0,30	0,904
0,35	0,843
0,40	0,778
0,45	0,710
0,50	0,643
0,55	0,578
0,60	0,515
0,65	0,452
0,70	0,389

Note. — En principe, les valeurs de Δ dépendent du type de microphone. Les valeurs données ci-dessus peuvent être utilisées pour les microphones typiques à condensateur d'un pouce couramment employés.

When the coupler shown in Figure 4, page 29, is used for the calibration, the pressure sensitivity of microphone (a), all quantities being in SI units, is (see Appendix I, equation 7):

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{8.90 \cdot 10^{-5} f}{p_s} \cdot \frac{|U_b/I_a| |U_a/I_c|}{|U_b/I_c|} \right)^{1/2}$$

6.5.2 Expressions for the pressure sensitivity when using two microphones and an auxiliary sound source

When the coupler shown in Figure 3, page 27, is used for the calibration, the pressure sensitivity of microphone (a), all quantities being in SI units, is:

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{0.210 \Delta}{p_s} \cdot \frac{f}{f_0} |U_b/I_a| |U_a/U_b| \right)^{1/2}$$

where: $|U_a/U_b| = |M_p^{(a)}/M_p^{(b)}|$ (see Sub-clause 4.1.2).

When the coupler shown in Figure 4 is used for the calibration, the pressure sensitivity of microphone (a), all quantities being in SI units, is:

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{8.90 \cdot 10^{-5} f}{p_s} \cdot |U_b/I_a| |U_a/U_b| \right)^{1/2}$$

TABLE I
Tabulated values of the correction factor Δ ,
to be used when the coupler in Figure 3 is employed

Relative frequency f/f_0	Δ
0.02	1.096
0.05	1.094
0.10	1.079
0.15	1.052
0.20	1.012
0.25	0.959
0.30	0.904
0.35	0.843
0.40	0.778
0.45	0.710
0.50	0.643
0.55	0.578
0.60	0.515
0.65	0.452
0.70	0.389

Note. — In principle, values of Δ depend on the type of microphone. The values given above may be used for typical one-inch condenser microphones in current use.

ANNEXE I

MICROPHONES RÉCIPROQUES

Les microphones à condensateur utilisés comme étalons de laboratoire peuvent être considérés comme réciproques et les équations du microphone peuvent alors s'écrire:

$$\begin{aligned} U &= Z_e I + M_p Z_a q \\ p &= M_p Z_a I + Z_a q \end{aligned} \quad (1)$$

où: U est la représentation complexe de la tension aux bornes électriques du microphone,
 I est la représentation complexe du courant à travers les bornes du microphone,
 p est la représentation complexe de la pression acoustique agissant sur la membrane,
 q est la représentation complexe du flux de vitesse acoustique de la membrane,*
 M_p est l'efficacité en pression du microphone,
 Z_e est l'impédance électrique du microphone lorsque la membrane est bloquée,
 Z_a est l'impédance acoustique du microphone lorsqu'il n'y a aucune charge à ses bornes.

* Note. — Le symbole q a été préféré au symbole Q recommandé par le Comité d'Etudes N° 25 de la CIEI, car il est d'un usage courant en acoustique et permet d'éviter une confusion avec le symbole pour la charge électrique Q .

Méthode de la réciprocité

La méthode utilisée pour l'étalonnage est décrite au paragraphe 4.1. On couple acoustiquement à l'aide du coupleur les microphones (a) et (b) d'efficacité en pression $M_p^{(a)}$ et $M_p^{(b)}$. Des équations de réciprocité données ci-dessus, on déduit qu'un courant I_a à travers les bornes électriques du microphone (a) produira un flux de vitesse de court-circuit ($p = 0$ sur la membrane) de grandeur égale à $M_p^{(a)} \cdot I_a$, ainsi qu'une pression acoustique $p_b = Z_{ab} M_p^{(a)} \cdot I_a$ aux bornes acoustiques du microphone (b); Z_{ab} étant l'impédance acoustique de transfert du système. La tension à circuit ouvert du microphone (b) sera alors:

$$U_b = M_p^{(b)} p_b = M_p^{(a)} M_p^{(b)} Z_{ab} I_a$$

Ainsi le produit des efficacités en pression est donné par la relation:

$$M_p^{(a)} M_p^{(b)} = \frac{1}{Z_{ab}} \frac{U_b}{I_a} \quad (2)$$

L'impédance acoustique de transfert $Z_{ab} = \frac{p_b}{M_p^{(a)} I_a}$ peut être évaluée à partir du circuit équivalent de la figure 5, page 28, où $Z_a^{(a)}$ et $Z_a^{(b)}$ sont respectivement les impédances acoustiques des microphones (a) et (b). Dans plusieurs cas, Z_{ab} peut être évaluée théoriquement.

Evaluation de l'impédance acoustique de transfert Z_{ab}

Supposons d'abord que la pression acoustique soit la même en n'importe quel point à l'intérieur du coupleur. Ceci a lieu généralement aux fréquences basses, lorsque les dimensions physiques du coupleur sont très petites par rapport à la longueur d'onde; le coupleur se comportera comme une compliance (capacitance) pure. Du circuit équivalent de la figure 6, page 28, Z_{ab} se détermine comme suit:

$$\frac{1}{Z_{ab}} = \frac{1}{Z_v} + \frac{1}{Z_a^{(a)}} + \frac{1}{Z_a^{(b)}} = j \frac{\omega}{\kappa p_s} (V + V_e^{(a)} + V_e^{(b)}) \simeq j \frac{\omega}{\kappa p_s} V_{ab} \quad (3)$$

où: $Z_v = \frac{\kappa p_s}{j \omega V}$

V est le volume géométrique total du coupleur,

$V_e^{(a)}$ est le volume équivalent du microphone (a),

$V_e^{(b)}$ est le volume équivalent du microphone (b),

$V_{ab} = \text{Re} (V + V_e^{(a)} + V_e^{(b)})$.

APPENDIX I

RECIPROCAL MICROPHONES

Condenser microphones used as laboratory standards may be considered reciprocal and the equation of the microphone can then be written as:

$$\begin{aligned} U &= Z_e I + M_p Z_a q \\ p &= M_p Z_a I + Z_a q \end{aligned} \quad (1)$$

where: U is the complex representation of the voltage at the electrical terminals of the microphone,
 I is the complex representation of the current through the electrical terminals,
 p is the complex representation of the sound pressure acting on the diaphragm,
 q is the complex representation of the volume velocity of the diaphragm, *
 M_p is the pressure sensitivity of the microphone,
 Z_e is the electrical impedance of the microphone when the diaphragm is blocked,
 Z_a is the acoustic impedance of the microphone when the electrical terminals are unloaded.

* *Note.* — The symbol q has been preferred instead of Q , as recommended by IEC Technical Committee 25, because it is in common use in acoustics, and also to avoid confusion with the symbol Q , for electric charge.

Reciprocity procedure

The procedure used for the calibration is described in Sub-clause 4.1. Let the microphones (a) and (b) with pressure sensitivities $M_p^{(a)}$ and $M_p^{(b)}$ be coupled acoustically by the coupler. From the above given equations of reciprocity it follows that a current I_a through the electrical terminals of microphone (a) will produce a short-circuit volume velocity ($p = 0$ at the diaphragm) the magnitude of which is $M_p^{(a)} \cdot I_a$ and thus a sound pressure $p_b = Z_{ab} M_p^{(a)} \cdot I_a$ at the acoustical terminals of microphone (b) where Z_{ab} is the acoustic transfer impedance of the system. The open-circuit voltage of microphone (b) will then be:

$$U_b = M_p^{(b)} p_b = M_p^{(a)} M_p^{(b)} Z_{ab} I_a$$

Thus the product of the pressure sensitivities is given by:

$$M_p^{(a)} M_p^{(b)} = \frac{1}{Z_{ab}} \frac{U_b}{I_a} \quad (2)$$

The acoustic transfer impedance $Z_{ab} = \frac{p_b}{M_p^{(a)} I_a}$ can be evaluated from the equivalent circuit in Figure 5, page 29, where: $Z_a^{(a)}$ and $Z_a^{(b)}$ are the acoustic impedance of microphones (a) and (b) respectively. In several cases Z_{ab} can be evaluated theoretically.

Evaluation of the Acoustic Transfer Impedance Z_{ab}

First, assume the sound pressure is the same at any point inside the coupler. This will generally take place at lower frequencies when the physical dimensions of the coupler are very small compared to the wavelength, and the coupler will thus behave as a pure compliance. From the equivalent circuit in Figure 6, page 29, Z_{ab} is determined as:

$$\frac{1}{Z_{ab}} = \frac{1}{Z_v} + \frac{1}{Z_a^{(a)}} + \frac{1}{Z_a^{(b)}} = j \frac{\omega}{\kappa p_s} (V + V_e^{(a)} + V_e^{(b)}) \simeq j \frac{\omega}{\kappa p_s} V_{ab} \quad (3)$$

where: $Z_v = \frac{\kappa p_s}{j\omega V}$

V is the total geometrical volume of the coupler,

$V_e^{(a)}$ is the equivalent volume of the microphone (a),

$V_e^{(b)}$ is the equivalent volume of the microphone (b),

$V_{ab} = \text{Re}(V + V_e^{(a)} + V_e^{(b)})$.

Le produit des efficacités en pression (voir équation 2) sera alors:

$$M_p^{(a)} M_p^{(b)} = j \frac{U_b}{I_a} \frac{\omega V_{ab}}{\kappa p_s} \quad (4)$$

Pour le coupleur indiqué à la figure 3, page 26, le volume total peut s'exprimer par:

$$V_{ab} = S \ell_{ab}$$

où: S est la section du coupleur et
 ℓ_{ab} est la longueur effective du coupleur.

Ainsi,

$$M_p^{(a)} M_p^{(b)} = j \frac{U_b}{I_a} \frac{\omega}{\kappa p_s} \ell_{ab} S$$

Aux fréquences plus élevées, auxquelles les dimensions du coupleur ne sont pas petites par rapport à la longueur d'onde, l'évaluation de Z_{ab} devient plus compliquée. Lorsqu'une haute précision n'est pas recherchée, on peut tenir compte à la fois des effets de la propagation et de la variation d'impédance acoustique des microphones avec la fréquence, en introduisant un facteur composite de correction déterminé empiriquement.

Pour le coupleur de la Figure 3, le facteur de correction Δ est donné au tableau I en fonction du paramètre sans dimensions f/f_0 , dans lequel f_0 est la première fréquence de résonance longitudinale du coupleur (c'est-à-dire $f_0 = c/2 \ell_0$, ℓ_0 étant approximativement égal à la distance physique qui sépare les membranes des microphones).

Alors, le produit des efficacités en pression peut être déterminé par la formule:

$$M_p^{(a)} M_p^{(b)} = j \frac{U_b}{I_a} \frac{\pi c S f}{\kappa p_s f_0} \Delta \quad (5)$$

Expression finale de l'efficacité en pression

Lorsqu'on utilise le coupleur de la figure 3, et si l'on suppose que la fréquence de résonance f_0 soit pratiquement la même pour les trois combinaisons de microphones, l'expression finale de l'efficacité en pression du microphone (a) est:

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{\pi c S f}{\kappa p_s f_0} \Delta \frac{|U_b/I_a| |U_a/I_c|}{|U_b/I_c|} \right)^{1/2}$$

En exprimant toutes les quantités en unités du Système International et en introduisant les valeurs numériques $\kappa = 1,402$, $c = 345$ m/s (23 °C) et $S = 2,72 \cdot 10^{-4}$ m², on obtient:

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{0,210 \Delta f}{p_s f_0} \frac{|U_b/I_a| |U_a/I_c|}{|U_b/I_c|} \right)^{1/2} \quad (6)$$

On obtient des expressions similaires pour les autres microphones:

$$|M_p^{(b)}| = \left(\frac{0,210 \Delta f}{p_s f_0} \frac{|U_b/I_a| |U_b/I_c|}{|U_a/I_c|} \right)^{1/2}$$

et

$$|M_p^{(c)}| = \left(\frac{0,210 \Delta f}{p_s f_0} \frac{|U_a/I_c| |U_b/I_c|}{|U_b/I_a|} \right)^{1/2}$$

Lorsqu'on utilise le coupleur de la figure 4, page 28, et si l'on suppose que la pression acoustique soit la même en tout point à l'intérieur du coupleur, l'expression finale de l'efficacité en pression du microphone (a) est:

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{\omega}{\kappa p_s} \frac{V_{ab} V_{ca}}{V_{cb}} \frac{|U_b/I_a| |U_a/I_c|}{|U_b/I_c|} \right)^{1/2}$$

The product of the pressure sensitivities (see equation 2) will then be

$$M_p^{(a)} M_p^{(b)} = j \frac{U_b}{I_a} \frac{\omega V_{ab}}{\kappa p_s} \quad (4)$$

For the coupler shown in Figure 3, page 27, the total volume can be expressed through

$$V_{ab} = S \ell_{ab}$$

where: S is the cross-sectional area of the coupler and
 ℓ_{ab} is the effective length of the coupler.

Thus,

$$M_p^{(a)} M_p^{(b)} = j \frac{U_b}{I_a} \frac{\omega}{\kappa p_s} \ell_{ab} S$$

At higher frequencies, for which the dimensions of the coupler are not small compared to the wavelength, the evaluation of Z_{ab} becomes more complicated. When a high accuracy is not aimed at, both the wave-motion effect and the effect of variation of acoustic impedance of the microphones with frequency can be taken into account by introducing a composite correction factor which is determined empirically.

For the coupler shown in Figure 3, the composite correction factor Δ is given in Table I as a function of the dimensionless parameter f/f_0 , where f_0 is the first longitudinal resonance frequency of the coupler, i.e. $f_0 = c/2 \ell_0$ where ℓ_0 is approximately equal to the physical separation of the microphone diaphragms.

Thus the product of the pressure sensitivities may be determined from:

$$M_p^{(a)} M_p^{(b)} = j \frac{U_b}{I_a} \frac{\pi c S f}{\kappa p_s f_0} \Delta \quad (5)$$

Final expression for the pressure sensitivity

Referring to the coupler shown in Figure 3 and assuming the resonance frequency f_0 to be nearly the same for all three combinations of microphones, the final expression for the sensitivity of microphone (a) is:

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{\pi c S f}{\kappa p_s f_0} \Delta \frac{|U_b/I_a| |U_a/I_c|}{|U_b/I_c|} \right)^{1/2}$$

With all quantities in SI units and introducing the numerical values $\kappa = 1.402$, $c = 345$ m/s (23 °C) and $S = 2.72 \cdot 10^{-4}$ m², then

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{0.210 \Delta f}{p_s f_0} \frac{|U_b/I_a| |U_a/I_c|}{|U_b/I_c|} \right)^{1/2} \quad (6)$$

Similar expressions are obtained for the other microphones, viz.

$$|M_p^{(b)}| = \left(\frac{0.210 \Delta f}{p_s f_0} \frac{|U_b/I_a| |U_b/I_c|}{|U_a/I_c|} \right)^{1/2}$$

and

$$|M_p^{(c)}| = \left(\frac{0.210 \Delta f}{p_s f_0} \frac{|U_a/I_c| |U_b/I_c|}{|U_b/I_a|} \right)^{1/2}$$

Referring to the coupler shown in Figure 4, page 27, and assuming the sound pressure to be the same at any point inside the coupler, the final expression for the pressure sensitivity of microphone (a) is:

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{\omega}{\kappa p_s} \frac{V_{ab} V_{ca}}{V_{cb}} \frac{|U_b/I_a| |U_a/I_c|}{|U_b/I_c|} \right)^{1/2}$$

En exprimant toutes les quantités en unités du Système International et en introduisant les valeurs numériques:

$$V = 19,62 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ et } \operatorname{Re}(V_e^{(a)}) \simeq \operatorname{Re}(V_e^{(b)}) \simeq \operatorname{Re}(V_e^{(c)}) \simeq 0,12 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 *$$

On obtient:

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{8,90 \cdot 10^{-5} f |U_b/I_a| |U_a/I_c|}{p_s |U_b/I_c|} \right)^{1/2} \quad (7)$$

On obtient des expressions similaires pour les autres microphones:

$$|M_p^{(b)}| = \left(\frac{8,90 \cdot 10^{-5} f |U_b/I_a| |U_b/I_c|}{p_s |U_a/I_c|} \right)^{1/2}$$

et

$$|M_p^{(c)}| = \left(\frac{8,90 \cdot 10^{-5} f |U_a/I_c| |U_b/I_c|}{p_s |U_b/I_a|} \right)^{1/2}$$

* *Note.* — La valeur $0,12 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ correspond aux microphones à condensateur d'un pouce d'usage courant.

With all quantities in SI units and introducing the numerical values

$$V = 19.62 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \text{ and } \text{Re}(V_e^{(a)}) \simeq \text{Re}(V_e^{(b)}) \simeq \text{Re}(V_e^{(c)}) \simeq 0.12 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 *$$

then,

$$|M_p^{(a)}| = \left(\frac{8.90 \cdot 10^{-5} f |U_b/I_a| |U_a/I_c|}{p_s |U_b/I_c|} \right)^{1/2} \quad (7)$$

Similar expressions are obtained for other microphones, viz.

$$|M_p^{(b)}| = \left(\frac{8.90 \cdot 10^{-5} f |U_b/I_a| |U_b/I_c|}{p_s |U_a/I_c|} \right)^{1/2}$$

and

$$|M_p^{(c)}| = \left(\frac{8.90 \cdot 10^{-5} f |U_a/I_c| |U_b/I_c|}{p_s |U_b/I_a|} \right)^{1/2}$$

* *Note.* — The value $0.12 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3$ is representative of one-inch condenser microphones in current use.

Withd 2012
IEC NORM.COM: Click to view the full PDF of IEC 60402:1972

ANNEXE II

DÉTERMINATION DE LA PRÉCISION GLOBALE D'ÉTALONNAGE

Plusieurs facteurs influenceront la précision de l'étalonnage, certains en introduisant une erreur de nature aléatoire et d'autres en influençant le résultat de manière systématique.

En plus des erreurs d'étalonnage dues aux instruments de mesure, les principales sources d'erreur sont:

AII.1 Tension de polarisation

L'efficacité en pression d'un microphone dépend directement de la tension de polarisation appliquée, qu'il soit utilisé comme émetteur ou comme récepteur.

AII.2 Pression statique

La pression statique intervient dans la formule du calcul de l'efficacité en pression.

AII.3 Fréquence

La fréquence intervient dans la formule du calcul de l'efficacité en pression. De plus, lorsqu'on utilise le coupleur de la figure 3, page 26, elle intervient dans la détermination du facteur de correction Δ .

AII.4 Impédance électrique de transfert

Quand on utilise trois microphones, l'impédance électrique de transfert intervient trois fois pour le calcul de l'efficacité en pression. Quand on utilise deux microphones et une source sonore auxiliaire, l'impédance électrique de transfert intervient une seule fois dans la formule.

AII.5 Section

Pour un coupleur donné, du type de celui de la figure 3, des erreurs dans la valeur de la section produiront une erreur systématique dans la détermination de l'efficacité en pression.

AII.6 Volume géométrique du coupleur

Pour un coupleur donné, du type de celui de la figure 4, page 28, des erreurs dans la valeur du volume géométrique produiront une erreur systématique dans la détermination de l'efficacité en pression.

AII.7 Volumes équivalents des microphones

Les volumes équivalents des microphones couplés figurent explicitement dans les formules permettant le calcul de l'efficacité en pression quand on utilise le coupleur de la figure 4, et implicitement par l'intermédiaire du facteur de correction Δ quand on utilise le coupleur de la figure 3.

AII.8 Fréquence de résonance longitudinale

Il est nécessaire de connaître la fréquence de la première résonance longitudinale seulement lorsqu'on utilise le coupleur de la figure 3. Elle intervient dans la formule pour le calcul de l'efficacité en pression et dans la détermination du facteur de correction Δ .

* * *

Les erreurs aléatoires sont combinées par un calcul de valeur quadratique moyenne; les erreurs systématiques (telles que les erreurs dans la section ou le volume) s'ajoutent algébriquement et la somme de leurs modules fournit une estimation de l'erreur systématique globale.

APPENDIX II

DETERMINATION OF THE OVERALL ACCURACY OF CALIBRATION

Several factors will influence the accuracy of calibration, some introducing an error of a random nature and others influencing the result in a systematic way.

In addition to the errors of calibration inherent in the measuring instruments, the main sources of error are:

AII.1 *Polarizing voltage*

The pressure sensitivity of a microphone depends directly on the polarizing voltage applied, whether used as source or receiver.

AII.2 *Static pressure*

The static pressure enters into the formulae for the calculation of pressure sensitivity.

AII.3 *Frequency*

The frequency enters into the formula for the calculation of pressure sensitivity; in addition, when using the coupler shown in Figure 3, page 27, it also enters into the determination of the correction factor Δ .

AII.4 *Electrical transfer impedance*

When using three microphones, the electrical transfer impedance enters into the calculation of pressure sensitivity three times; when using two microphones and an auxiliary sound source, the electrical transfer impedance enters into the formula only once.

AII.5 *Cross-sectional area*

For a given coupler of the type shown in Figure 3, errors in the value of the cross-sectional area will produce a systematic error in the determination of the pressure sensitivity.

AII.6 *Geometrical volume of the coupler*

For a given coupler of the type shown in Figure 4, page 29, errors in the value of the geometrical volume will produce a systematic error in the determination of the pressure sensitivity.

AII.7 *Equivalent volume of the microphones*

The equivalent volumes of the coupled microphones enter explicitly into the formulae for the calculation of pressure sensitivity when using the coupler shown in Figure 4, and implicitly through the correction factor Δ when using the coupler shown in Figure 3.

AII.8 *Frequency of longitudinal resonance*

The frequency of the first longitudinal resonance is required only when using the coupler shown in Figure 3. It enters into the formulae for the calculation of pressure sensitivity and into the determination of the correction factor Δ .

* * *

Random errors are compounded using a root-mean-square calculation; systematic errors (such as in cross-sectional area or volume) add algebraically and the sum of their moduli provides an estimate of the overall systematic error.
