

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

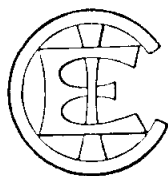
Publication 327

Première édition — First edition

1971

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

**Precision method for pressure calibration of one-inch standard
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

Withdrawn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 327

Première édition — First edition

1971

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

**Precision method for pressure calibration of one-inch standard
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 Varembe

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
3.2.1 Niveau d'efficacité en pression d'un microphone	8
3.2.2 Argument de l'efficacité en pression d'un microphone	8
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	10
3.8 Impédance acoustique de transfert	10
3.9 Microphone réciproque	10
4. Principes de l'étalonnage en pression par la méthode de la réciprocité	10
4.1 Généralités	10
4.1.1 Principes généraux de la méthode utilisant trois microphones	12
4.1.2 Principes généraux de la méthode utilisant deux microphones et une source sonore auxiliaire	12
4.2 Conditions relatives au coupleur	12
4.3 Méthode de la réciprocité	12
4.4 Evaluation de Z_{ab}	12
4.5 Correction de conduction thermique	14
4.6 Correction de capillarité	16
4.7 Expressions finales du niveau d'efficacité en pression	16
4.7.1 Méthode utilisant trois microphones	16
4.7.2 Méthode utilisant deux microphones et une source sonore auxiliaire	18
5. Précision absolue des étalonnages	18
5.1 Généralités	18
5.2 Facteurs intervenant dans la précision d'un étalonnage	18
5.2.1 Tension de polarisation	18
5.2.2 Pression statique	18
5.2.3 Fréquence	18
5.2.4 Impédance électrique de transfert	18
5.2.5 Correction de conduction thermique	18
5.2.6 Correction de capillarité	18
5.2.7 Section du coupleur	18
5.2.8 Longueur effective du coupleur	20
5.2.9 Volume effectif du coupleur	20
5.2.10 Température du coupleur et des microphones	20
5.2.11 Distribution de pression sur la membrane	20
5.2.12 Pertes acoustiques	20
5.3 Précision globale	20
6. Méthodes et équipement d'étalonnage	22
6.1 Coupleur	22
6.2 Configuration de référence du blindage	22
6.3 Technique de la tension insérée	22
6.4 Influence de la pression statique	22
6.5 Tension de polarisation	24
6.6 Longueur effective du coupleur	24
6.7 Impédance acoustique du microphone	24
6.8 Tension maximale du générateur	24
6.9 Bruit	24
ANNEXE A: Exemples de coupleurs cylindriques pour l'étalonnage des microphones	28

CONTENTS

	Page
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
3.2.1 Pressure sensitivity level of a microphone	9
3.2.2 Pressure sensitivity phase angle of a microphone	9
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.	11
3.8 Acoustic transfer impedance	11
3.9 Reciprocal microphone	11
4. Principles of pressure calibration by reciprocity	11
4.1 General	11
4.1.1 General principles using three microphones	13
4.1.2 General principles using two microphones and an auxiliary sound source	13
4.2 Coupler requirements	13
4.3 Reciprocity procedure.	13
4.4 Evaluation of Z_{ab}	13
4.5 Heat-conduction correction	15
4.6 Capillary correction.	17
4.7 Final expressions for the pressure sensitivity level	17
4.7.1 Method using three microphones	17
4.7.2 Method using two microphones and an auxiliary sound source	19
5. Absolute accuracy of calibration	19
5.1 General	19
5.2 Factors influencing the accuracy of calibration	19
5.2.1 Polarizing voltage	19
5.2.2 Static pressure	19
5.2.3 Frequency	19
5.2.4 Electrical transfer impedance.	19
5.2.5 Heat conduction correction	19
5.2.6 Capillary correction.	19
5.2.7 Cross-sectional area of the coupler	19
5.2.8 Effective length of the coupler	21
5.2.9 Effective volume of the coupler.	21
5.2.10 Temperature of the coupler and microphones	21
5.2.11 Pressure distribution over the diaphragm	21
5.2.12 Acoustic losses	21
5.3 Over-all accuracy	21
6. Calibration methods and equipment	23
6.1 Coupler	23
6.2 Reference configuration of ground-shield	23
6.3 Insert voltage technique	23
6.4 Dependence on static pressure	23
6.5 Polarizing voltage.	25
6.6 Effective length of the coupler	25
6.7 Acoustic impedance of the microphone	25
6.8 Maximum generator voltage	25
6.9 Noise	25
APPENDIX A: Examples of cylindrical couplers for calibration of microphones	29

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

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

PRÉAMBULE

- 1) Les décisions ou accords officiels de la C E I 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 cette unification internationale, la C E I exprime le vœu que tous les Comités nationaux ne possédant pas encore de règles nationales, lorsqu'ils préparent ces règles, prennent comme base fondamentale de ces règles les recommandations de la C E I dans la mesure où les conditions nationales le permettent.
- 4) On reconnaît qu'il est désirable que l'accord international sur ces questions soit suivi d'un effort pour harmoniser les règles nationales de normalisation avec ces recommandations dans la mesure où les conditions nationales le permettent. Les Comités nationaux s'engagent à user de leur influence dans ce but.

PRÉFACE

La présente recommandation a été établie par le Comité d'Etudes N° 29 de la C E I: Electroacoustique.

A la suite de la réunion tenue à Baden-Baden en 1962, une série de comparaisons à laquelle participèrent divers laboratoires nationaux d'étalonnage fut organisée. Un projet fut ensuite discuté lors de la réunion tenue à Prague en 1966. Un projet définitif fut préparé par le Secrétariat du Sous-Comité 29C: Dispositifs de mesure, et fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en septembre 1968.

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

Allemagne	Japon
Australie	Norvège
Belgique	Pologne
Canada	Roumanie
Danemark	Royaume-Uni
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
Hongrie	Tchécoslovaquie
Israël	Turquie
Italie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

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

FOREWORD

- 1) The formal decisions or agreements of the I E C 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 this international unification, the I E C expresses the wish that all National Committees having as yet no national rules, when preparing such rules, should use the I E C recommendations as the fundamental basis for these rules in so far as national conditions will permit.
- 4) The desirability is recognized of extending international agreement on these matters through an endeavour to harmonize national standardization rules with these recommendations in so far as national conditions will permit. The National Committees pledge their influence towards that end.

PREFACE

This Recommendation has been prepared by I E C Technical Committee No. 29, Electro-acoustics.

As a result of the meeting held in Baden-Baden in 1962, a series of comparisons in which national standardizing laboratories participated was organized. Following this, a draft was discussed at the meeting held in Prague in 1966. A final draft was prepared by the Secretariat of Sub-Committee 29C, Measuring Devices, and was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in September 1968.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Japan
Belgium	Norway
Canada	Poland
Czechoslovakia	Romania
Denmark	Switzerland
Germany	Turkey
Hungary	Union of Soviet Socialist Republics
Israel	United Kingdom
Italy	United States of America

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

1. Domaine d'application

Cette recommandation décrit l'étalonnage des microphones à condensateur d'un pouce utilisés comme étalons de laboratoires. On se limite à 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 des méthodes pour mesurer, avec la plus grande précision possible, certaines caractéristiques des microphones étalons à condensateur, afin que les discussions entre les laboratoires d'essais puissent être fondées sur des résultats clairement exprimés et reproductibles. Bien que l'étalonnage en pression des microphones à condensateur soit un problème général, cette recommandation se limite aux microphones habituellement appelés microphones à condensateur d'un pouce.

Notes 1. – Ces microphones ont généralement un diamètre extérieur de 0,936 in = 23,77 mm.

2. – Des recommandations pour des microphones à condensateur de plus faibles dimensions pourront être l'objet d'études futures.

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 électriques dépendra de la charge électrique constituée par le montage mécanique du microphone. Ainsi, pour les besoins de cette recommandation, la tension à circuit ouvert est définie comme la tension apparaissant aux bornes électriques de la capsule, mesurée par la technique de la tension insérée, quand le microphone est relié à un blindage de configuration spécifiée mais n'est pas chargé par ailleurs (voir paragraphes 6.2 et 6.3).

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 newton par mètre carré. V/(Nm⁻²).

Note. – On pourrait noter que le terme « réponse en pression » est parfois utilisé à la place de « efficacité en pression ».

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

1. Scope

This Recommendation describes the calibration of one-inch condenser microphones used as laboratory standards. It is restricted to reciprocity pressure calibration by the coupler method.

2. Object

The object of this Recommendation is to specify methods of measuring certain characteristics of standard condenser microphones with the highest obtainable accuracy so that exchanges between testing authorities may be based on clearly expressed and reproducible results. Although the pressure calibration of condenser microphones is a problem of general nature, this Recommendation is restricted to microphones commonly known as one-inch condenser microphones.

Notes 1. – These microphones commonly have an outer diameter of 0.936 in = 23.77 mm.

2. – Recommendations for condenser microphones of smaller dimensions are left for future consideration.

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 Recommendation, 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 a specified groundshield configuration but is otherwise unloaded (see Sub-clauses 6.2 and 6.3).

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 newton per square metre. V/(Nm⁻²).

Note. – 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 est égal à 20 fois le logarithme de base 10 du module de l'efficacité en pression M_p exprimé en $V/(Nm^{-2})$.

$$(1 \text{ Nm}^{-2} = 10 \text{ dyn cm}^{-2} = 10 \text{ } \mu\text{bar}).$$

Unité : le décibel. dB.

3.2.2 Argument de l'efficacité en pression d'un microphone

L'argument de l'efficacité en pression d'un microphone à une fréquence donnée est la différence de phase entre la tension à circuit ouvert et la pression acoustique uniforme agissant sur la membrane.

Unité : degré ou radian.

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 : ohm. Ω .

Note. – Cette impédance est une fonction de la charge acoustique sur la membrane.

3.4 Impédance acoustique d'un microphone

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.

Unité : newton seconde par mètre à la puissance cinq. Nsm^{-5} .

Note. – Cette impédance est une fonction de la charge électrique du microphone.

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 équivalent complexe V_e d'un gaz enfermé dans une cavité rigide selon l'équation suivante :

$$V_e = \frac{\kappa p_s}{j\omega Z_a} \quad (1)$$

où :

κ est le rapport des chaleurs spécifiques

p_s est la pression statique

ω est la pulsation

Z_a est l'impédance acoustique du microphone

Unité : 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 $p_s = 10^5 \text{ Nm}^{-2}$, $\kappa = 1,402$; pour de l'hydrogène sec à 20 °C et $p_s = 10^5 \text{ Nm}^{-2}$, $\kappa = 1,406$.

3.6 Coupleur

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

3.2.1 Pressure sensitivity level of a microphone

The pressure sensitivity level is expressed as 20 times the logarithm to the base of 10 of the modulus of the pressure sensitivity M_p expressed in units of $V/(Nm^{-2})$.

$$(1 \text{ Nm}^{-2} = 10 \text{ dyn cm}^{-2} = 10 \text{ } \mu\text{bar}).$$

Unit : decibel. dB.

3.2.2 Pressure sensitivity phase angle of a microphone

The pressure sensitivity phase angle of a microphone at a given frequency is the phase angle between the open-circuit voltage and the uniform sound pressure acting on the diaphragm.

Unit : degree or radian.

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 load on the diaphragm.

3.4 Acoustic impedance of a microphone

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.

Unit : newton second per metre to the fifth. Nsm^{-5} .

Note. – This impedance is a function of the electrical load on the microphone.

3.5 Equivalent volume of a microphone

In dealing with reciprocity calibration in a closed 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:

$$V_e = \frac{\kappa p_s}{j\omega Z_a} \quad (1)$$

where

κ is the ratio of the specific heats

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 $p_s = 10^5 \text{ Nm}^{-2}$, $\kappa = 1.402$; for dry hydrogen at 20 °C and $p_s = 10^5 \text{ Nm}^{-2}$, $\kappa = 1.406$.

3.6 Coupler

For the purpose of this Recommendation, a coupler is a device which, when fitted with two microphones, forms a cavity of predetermined shape and dimensions acting as an acoustic coupling element between the two microphones.

3.7 Impédance électrique de transfert

Pour les besoins de cette recommandation, il est convenu de définir l'impédance électrique de transfert pour le 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.

3.8 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 produit par le microphone utilisé comme émetteur sonore.

3.9 Microphone réciproque

Considérons un microphone passif linéaire.

A une fréquence particulière donnée, appelons :

p , la pression acoustique sur la membrane comme il est indiqué au paragraphe 3.2

U , la tension aux bornes électriques du microphone

q , le flux de vitesse à travers la surface de la membrane

i , le courant aux bornes électriques

Les équations liant les caractéristiques du microphone peuvent alors être écrites comme suit :

$$\begin{cases} z_{11} i + z_{12} q = U \\ z_{21} i + z_{22} q = p \end{cases} \quad (2)$$

où :

z_{11} est l'impédance électrique du microphone quand la membrane est bloquée

z_{22} est l'impédance acoustique du microphone quand il n'est pas chargé électriquement

On dit que le microphone est réciproque si les coefficients de transduction z_{12} et z_{21} sont tels que $z_{12} = \pm z_{21}$.

Note. – Les microphones à condensateur utilisés comme étalons de laboratoire peuvent être considérés comme réciproques et les équations (2) s'écrivent alors :

$$\begin{cases} Z_e i + M_p Z_a q = U \\ M_p Z_a i + Z_a q = p \end{cases} \quad (2a)$$

où :

$$Z_e = z_{11}, Z_a = z_{22} \text{ et } z_{12} = \pm z_{21} = M_p Z_a$$

4. Principes de l'étalonnage en pression par la méthode de la réciprocité

4.1 Généralités

Un étalonnage de microphone 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.

3.7 *Electrical transfer impedance*

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

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

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 produced by the microphone used as a sound transmitter.

3.9 *Reciprocal microphone*

Consider a linear passive microphone.

At a given single frequency, let:

p be the sound pressure at the diaphragm as explained in Sub-clause 3.2

U be the voltage at the electrical terminals of the microphone

q be the volume velocity of the diaphragm

i be the current through the electrical terminals

The equations of the microphone can then be written as:

$$\begin{cases} z_{11} i + z_{12} q = U \\ z_{21} i + z_{22} q = p \end{cases} \quad (2)$$

where:

z_{11} is the electrical impedance of the microphone when the diaphragm is blocked

z_{22} is the acoustic impedance of the microphone when the electrical terminals are unloaded

The microphone is said to be reciprocal if the transduction coefficients z_{12} and z_{21} are such that $z_{12} = \pm z_{21}$.

Note. – Condenser microphones used as laboratory standards may be considered reciprocal and equation (2) can then be rewritten as:

$$\begin{cases} Z_e i + M_p Z_a q = U \\ M_p Z_a i + Z_a q = p \end{cases} \quad (2a)$$

where:

$$Z_e = z_{11}, Z_a = z_{22} \text{ and } z_{12} = \pm z_{21} = M_p Z_a$$

4. **Principles of pressure calibration by reciprocity**

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.