

**RAPPORT  
TECHNIQUE  
TECHNICAL  
REPORT**

**CEI  
IEC  
60782**

Première édition  
First edition  
1984-01

---

---

**Mesures des transducteurs magnétostrictifs  
ultrasoniques**

**Measurements of ultrasonic magnetostrictive  
transducers**



Numéro de référence  
Reference number  
CEI/IEC 60782: 1984

## Numéros des publications

Depuis le 1er janvier 1997, les publications de la CEI sont numérotées à partir de 60000.

## Publications 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.

## Validité de la présente publication

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 la date de reconfirmation de la publication sont disponibles dans le Catalogue de la CEI.

Les renseignements relatifs à des questions à l'étude et des travaux en cours entrepris par le comité technique qui a établi cette publication, ainsi que la liste des publications établies, se trouvent dans les documents ci-dessous:

- **«Site web» de la CEI\***
- **Catalogue des publications de la CEI**  
Publié annuellement et mis à jour régulièrement (Catalogue en ligne)\*
- **Bulletin de la CEI**  
Disponible à la fois au «site web» de la CEI\* et comme périodique imprimé

## Terminologie, symboles graphiques et littéraux

En ce qui concerne la terminologie générale, le lecteur se reportera à la CEI 60050: *Vocabulaire Electrotechnique International* (VEI).

Pour les symboles graphiques, les symboles littéraux et les signes d'usage général approuvés par la CEI, le lecteur consultera la CEI 60027: *Symboles littéraux à utiliser en électrotechnique*, la CEI 60417: *Symboles graphiques utilisables sur le matériel. Index, relevé et compilation des feuilles individuelles*, et la CEI 60617: *Symboles graphiques pour schémas*.

\* Voir adresse «site web» sur la page de titre.

## Numbering

As from 1 January 1997 all IEC publications are issued with a designation in the 60000 series.

## Consolidated publications

Consolidated versions of some IEC publications including amendments are available. 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.

## Validity of this publication

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 the date of the reconfirmation of the publication is available in the IEC catalogue.

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 to be found at the following IEC sources:

- **IEC web site\***
- **Catalogue of IEC publications**  
Published yearly with regular updates (On-line catalogue)\*
- **IEC Bulletin**  
Available both at the IEC web site\* and as a printed periodical

## Terminology, graphical and letter symbols

For general terminology, readers are referred to IEC 60050: *International Electrotechnical Vocabulary* (IEV).

For graphical symbols, and letter symbols and signs approved by the IEC for general use, readers are referred to publications IEC 60027: *Letter symbols to be used in electrical technology*, IEC 60417: *Graphical symbols for use on equipment. Index, survey and compilation of the single sheets* and IEC 60617: *Graphical symbols for diagrams*.

\* See web site address on title page.

**RAPPORT  
TECHNIQUE  
TECHNICAL  
REPORT**

**CEI  
IEC  
60782**

Première édition  
First edition  
1984-01

---

---

**Mesures des transducteurs magnétostrictifs  
ultrasoniques**

**Measurements of ultrasonic magnetostrictive  
transducers**

© IEC 1984 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  
Telefax: +41 22 919 0300

3, rue de Varembé Geneva, Switzerland  
e-mail: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch) IEC web site <http://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

|                          | Pages |
|--------------------------|-------|
| PRÉAMBULE .....          | 6     |
| PRÉFACE .....            | 6     |
| Liste des symboles ..... | 8     |

## SECTION UN — INTRODUCTION

## Articles

|                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Domaine d'application .....                                         | 10 |
| 2. Objet .....                                                         | 10 |
| 3. Classification des transducteurs .....                              | 10 |
| 4. Liste des caractéristiques fondamentales .....                      | 10 |
| 5. Définitions et symboles des caractéristiques .....                  | 14 |
| 5.1 Puissance électrique d'entrée $P_e$ .....                          | 14 |
| 5.2 Rendement électroacoustique du transducteur $\eta_{ea}$ .....      | 14 |
| 5.3 Amplitude de déplacement vibratoire $\xi$ .....                    | 16 |
| 5.4 Fréquence de résonance $f_{res}$ .....                             | 16 |
| 5.5 Largeur de bande $\Delta f$ .....                                  | 16 |
| 5.6 Impédance électrique du transducteur $Z$ .....                     | 18 |
| 5.7 Impédance électrique bloquée (amortie) du transducteur $Z_d$ ..... | 18 |

## SECTION DEUX — CONDITIONS DE MESURE

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 6. Généralités .....                                              | 18 |
| 7. Paramètres opératoires .....                                   | 20 |
| 8. Charge acoustique liquide .....                                | 20 |
| 9. Préparation des mesures des transducteurs de catégorie P ..... | 20 |
| 9.1 Préparation du transducteur .....                             | 20 |
| 9.2 Préparation de l'eau .....                                    | 20 |
| 10. Prescriptions générales relatives à l'appareillage .....      | 20 |

## SECTION TROIS — PROCESSUS DE MESURE

|                                                                                |    |
|--------------------------------------------------------------------------------|----|
| 11. Puissance électrique d'entrée .....                                        | 22 |
| 11.1 Méthode du wattmètre .....                                                | 22 |
| 11.2 Méthode d'impédance .....                                                 | 22 |
| 11.3 Méthode des trois voltmètres .....                                        | 22 |
| 12. Rendement électroacoustique .....                                          | 24 |
| 12.1 Méthode du wattmètre calorimétrique .....                                 | 24 |
| 12.2 Méthode du flux de puissance .....                                        | 26 |
| 12.3 Méthode du wattmètre .....                                                | 28 |
| 12.4 Méthode du diagramme d'impédance .....                                    | 28 |
| 13. Amplitude de déplacement vibratoire .....                                  | 30 |
| 13.1 Méthode du microscope optique .....                                       | 30 |
| 13.2 Méthodes des capteurs de vibrations .....                                 | 30 |
| 14. Fréquence de résonance du transducteur .....                               | 32 |
| 14.1 Méthode de la puissance maximale .....                                    | 32 |
| 14.2 Méthode de l'amplitude maximale .....                                     | 32 |
| 14.3 Méthode de l'impédance caractéristique .....                              | 32 |
| 15. Largeur de bande et facteur de qualité mécanique .....                     | 34 |
| 15.1 Méthode de la caractérisation en fréquence de la puissance d'entrée ..... | 34 |
| 15.2 Méthode de la caractérisation en fréquence de l'amplitude .....           | 34 |
| 16. Impédance électrique du transducteur à la résonance .....                  | 36 |
| 16.1 Méthode du voltmètre et du wattmètre .....                                | 36 |
| 16.2 Méthode du pont .....                                                     | 36 |
| 16.3 Méthode du voltmètre et du phasemètre .....                               | 36 |
| 16.4 Méthode des trois voltmètres .....                                        | 36 |
| 17. Impédance électrique bloquée (amortie) du transducteur .....               | 38 |

## CONTENTS

|                       | Page |
|-----------------------|------|
| FOREWORD .....        | 7    |
| PREFACE .....         | 7    |
| List of symbols ..... | 9    |

## SECTION ONE — INTRODUCTION

## Clause

|                                                                         |    |
|-------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Scope .....                                                          | 11 |
| 2. Object .....                                                         | 11 |
| 3. Classification of transducers .....                                  | 11 |
| 4. List of essential characteristics .....                              | 11 |
| 5. Definitions of characteristics and their symbols .....               | 15 |
| 5.1 Input electrical power $P_e$ .....                                  | 15 |
| 5.2 Electroacoustical efficiency of the transducer $\eta_{ea}$ .....    | 15 |
| 5.3 Vibrational displacement amplitude $\xi$ .....                      | 17 |
| 5.4 Frequency of resonance $f_{res}$ .....                              | 17 |
| 5.5 Bandwidth $\Delta f$ .....                                          | 17 |
| 5.6 Electrical impedance of the transducer $Z$ .....                    | 19 |
| 5.7 Blocked (damped) electrical impedance of the transducer $Z_d$ ..... | 19 |

## SECTION TWO — MEASURING CONDITIONS

|                                                                |    |
|----------------------------------------------------------------|----|
| 6. General .....                                               | 19 |
| 7. Operating parameters .....                                  | 21 |
| 8. Acoustical liquid load .....                                | 21 |
| 9. Preparation for measurement of P-category transducers ..... | 21 |
| 9.1 Preparation of the transducer .....                        | 21 |
| 9.2 Preparation of water .....                                 | 21 |
| 10. General requirements for the instrumentation .....         | 21 |

## SECTION THREE — MEASURING PROCEDURES

|                                                                   |    |
|-------------------------------------------------------------------|----|
| 11. Electrical input power .....                                  | 23 |
| 11.1 Wattmeter method .....                                       | 23 |
| 11.2 Impedance method .....                                       | 23 |
| 11.3 Three voltmeter method .....                                 | 23 |
| 12. Electroacoustical efficiency .....                            | 25 |
| 12.1 Calorimetric-wattmeter method .....                          | 25 |
| 12.2 Power flow method .....                                      | 27 |
| 12.3 Wattmeter method .....                                       | 29 |
| 12.4 Impedance diagram method .....                               | 29 |
| 13. Vibrational displacement amplitude .....                      | 31 |
| 13.1 Optical microscope method .....                              | 31 |
| 13.2 Vibrometer methods .....                                     | 31 |
| 14. Frequency of resonance of the transducer .....                | 33 |
| 14.1 Maximum power method .....                                   | 33 |
| 14.2 Maximum amplitude method .....                               | 33 |
| 14.3 Impedance characteristic method .....                        | 33 |
| 15. Bandwidth and mechanical quality factor .....                 | 35 |
| 15.1 Input power frequency characteristic method .....            | 35 |
| 15.2 Amplitude frequency characteristic method .....              | 35 |
| 16. Electrical impedance of the transducer at resonance .....     | 37 |
| 16.1 Voltmeter and wattmeter method .....                         | 37 |
| 16.2 Bridge method .....                                          | 37 |
| 16.3 Voltmeter and phasemeter method .....                        | 37 |
| 16.4 Three voltmeter method .....                                 | 37 |
| 17. Blocked (damped) electrical impedance of the transducer ..... | 39 |

|                                                                                                                                         | Pages |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------|
| ANNEXE A — Conditions de mesures .....                                                                                                  | 40    |
| ANNEXE B — Bases et limites de la mesure de la puissance acoustique par la méthode calorimétrique .....                                 | 42    |
| ANNEXE C — Bases de la méthode du wattmètre et de la méthode du diagramme d'impédance pour la mesure du rendement du transducteur ..... | 44    |
| ANNEXE D — Capteurs de vibrations pour des mesures de l'amplitude de déplacement sans contact .....                                     | 46    |
| ANNEXE E — Bibliographie .....                                                                                                          | 48    |
| FIGURES .....                                                                                                                           | 50    |

---

|                                                                                                                              | Page |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|
| APPENDIX A — Measuring conditions .....                                                                                      | 41   |
| APPENDIX B — Basis of the calorimetric method of measuring the acoustic power and its limitations .....                      | 43   |
| APPENDIX C — Basis of the wattmeter method and of the impedance diagram method of measurement of transducer efficiency ..... | 45   |
| APPENDIX D — Vibrometers for non-contact measurements of displacement amplitude .....                                        | 47   |
| APPENDIX E — Bibliography .....                                                                                              | 48   |
| FIGURES .....                                                                                                                | 50   |

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

---

**MESURES DES TRANSDUCTEURS MAGNÉTOSTRICTIFS  
ULTRASONIQUES**

---

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

Le présent rapport a été établi par le Sous-Comité 29D: Ultrasons, du Comité d'Etudes n° 29 de la CEI: Electroacoustique.

Des projets furent discutés lors des réunions tenues à Stresa en 1969, à Londres en 1971, à Oslo en 1972, à Moscou en 1974, à Gaithersburg en 1976, à Budapest en 1977, à Stockholm en 1979 et à Sydney en 1980. A la suite de cette dernière réunion, un projet, document 29D(Bureau Central)18, fut soumis à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois en février 1982.

Les Comités nationaux des pays ci-après se sont prononcés explicitement en faveur de la publication:

|                                |                         |
|--------------------------------|-------------------------|
| Afrique du Sud (République d') | Italie                  |
| Allemagne                      | Japon                   |
| Australie                      | Pays-Bas                |
| Autriche                       | Roumanie                |
| Belgique                       | Royaume-Uni             |
| Chine                          | Suède                   |
| Danemark                       | Union des Républiques   |
| Espagne                        | Socialistes Soviétiques |
| Etats-Unis d'Amérique          |                         |

---

## INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

---

**MEASUREMENTS OF ULTRASONIC MAGNETOSTRICTIVE  
TRANSDUCERS**

---

**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 recommendation and the corresponding national rules should, as far as possible, be clearly indicated in the latter.

**PREFACE**

This report has been prepared by Sub-Committee 29D: Ultrasonics, of IEC Technical Committee No. 29: Electroacoustics.

Drafts were discussed at meetings held in Stresa in 1969, in London in 1971, in Oslo in 1972, in Moscow in 1974, in Gaithersburg in 1976, in Budapest in 1977, in Stockholm in 1979 and in Sydney in 1980. As a result of this latter meeting, a draft, Document 29D(Central Office)18, was submitted to the National Committees for approval under the Six Months' Rule in February 1982.

The National Committees of the following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia  
Austria  
Belgium  
China  
Denmark  
Germany  
Italy  
Japan  
Netherlands

Romania  
South Africa (Republic of)  
Spain  
Sweden  
Union of Soviet  
Socialist Republics  
United Kingdom  
United States of America

## MESURES DES TRANSDUCTEURS MAGNÉTOSTRICTIFS ULTRASONIQUES

### LISTE DES SYMBOLES

|             |                                                          |            |                                                                |
|-------------|----------------------------------------------------------|------------|----------------------------------------------------------------|
| $P_e$       | = puissance électrique d'entrée                          | $f$        | = fréquence                                                    |
| $V_T$       | = tension d'excitation du transducteur                   | $f_{res}$  | = fréquence de résonance du transducteur                       |
| $I_T$       | = courant d'excitation du transducteur                   | $f_r$      | = fréquence de résonance série du transducteur                 |
| $\varphi$   | = déphasage entre $V_T$ et $I_T$                         | $f_a$      | = fréquence d'antirésonance du transducteur                    |
| $P_a$       | = puissance acoustique de sortie du transducteur         | $\Delta f$ | = largeur de bande                                             |
| $P_d$       | = puissance de perte magnétique du transducteur          | $Q$        | = facteur de qualité mécanique                                 |
| $P_{ml}$    | = puissance de perte mécanique interne du transducteur   | $Z$        | = impédance électrique du transducteur                         |
| $P_m$       | = puissance mécanique totale fournie par le transducteur | $R$        | = composante réelle de l'impédance électrique                  |
| $I_{Tp}$    | = courant de polarisation                                | $X$        | = composante imaginaire de l'impédance électrique              |
| $R_w$       | = résistance de l'enroulement du transducteur            | $Z_{res}$  | = valeur de l'impédance électrique à la fréquence de résonance |
| $\eta_{ea}$ | = rendement électroacoustique                            | $Z_d$      | = impédance électrique bloquée du transducteur                 |
| $\eta_{em}$ | = rendement électromécanique                             | $R_s$      | = résistance connectée en série avec le transducteur           |
| $\eta_{ma}$ | = rendement mécanique-acoustique                         |            |                                                                |
| $\xi$       | = amplitude de déplacement vibratoire                    |            |                                                                |

## MEASUREMENTS OF ULTRASONIC MAGNETOSTRICTIVE TRANSDUCERS

### LIST OF SYMBOLS

|             |                                                      |            |                                                               |
|-------------|------------------------------------------------------|------------|---------------------------------------------------------------|
| $P_e$       | = electrical input power                             | $f$        | = frequency                                                   |
| $V_T$       | = driving voltage of transducer                      | $f_{res}$  | = frequency of resonance of the transducer                    |
| $I_T$       | = driving current of transducer                      | $f_r$      | = series resonance frequency of the transducer                |
| $\varphi$   | = phase shift between $V_T$ and $I_T$                | $f_a$      | = antiresonance frequency of the transducer                   |
| $P_a$       | = acoustical output power of transducer              | $\Delta f$ | = bandwidth                                                   |
| $P_d$       | = magnetic loss power of transducer                  | $Q$        | = mechanical quality factor                                   |
| $P_{ml}$    | = internal mechanical loss power of transducer       | $Z$        | = electrical impedance of the transducer                      |
| $P_m$       | = total mechanical power delivered by the transducer | $R$        | = real component of the electrical impedance                  |
| $I_{Tp}$    | = polarizing current                                 | $X$        | = imaginary component of the electrical impedance             |
| $R_w$       | = resistance of winding of the transducer            | $Z_{res}$  | = value of electrical impedance at the frequency of resonance |
| $\eta_{ea}$ | = electroacoustical efficiency                       | $Z_d$      | = blocked electrical impedance of the transducer              |
| $\eta_{em}$ | = electromechanical efficiency                       | $R_s$      | = resistor connected in series with the transducer            |
| $\eta_{ma}$ | = mechanoacoustical efficiency                       |            |                                                               |
| $\xi$       | = vibrational displacement amplitude                 |            |                                                               |

## SECTION UN — INTRODUCTION

### 1. Domaine d'application

Le présent rapport est applicable aux transducteurs magnétostrictifs, qu'ils soient de type métallique laminé ou de type ferrite, conçus pour émettre une puissance acoustique sonique ou ultrasonique, dans les milieux liquides ou solides; ne transmettant pas d'information, ils servent à différents traitements ultrasoniques, tels que usinage, soudage, action chimique, etc., en fonctionnant à la fréquence de résonance avec une alimentation par générateurs de puissance.

Ce rapport s'applique aussi, moyennant certaines modifications, à des transducteurs spéciaux, comme ceux qui sont conçus pour utilisation avec des métaux fondus, etc.

Dans ce rapport, on considère uniquement les transducteurs ayant une seule fréquence de résonance en fonctionnement.

### 2. Objet

Ce rapport spécifie les caractéristiques fondamentales et les méthodes recommandées, destinées aux mesures de l'évaluation des performances des transducteurs.

### 3. Classification des transducteurs

Dans ce rapport, les transducteurs à mesurer sont classés en deux catégories:

#### *Catégorie P* (émetteurs ultrasoniques)

Transducteurs conçus pour rayonner une puissance acoustique dans un liquide. Le diaphragme métallique, ou pavillon, fixé à l'extrémité rayonnante du transducteur pour assurer une meilleure adaptation au milieu, peut être considéré comme faisant partie du transducteur.

#### *Catégorie A* (appareillage ultrasonique)

Transducteurs, avec ou sans transformateurs mécaniques, destinés à augmenter l'amplitude de vibration ou, par ailleurs, à supporter des conditions de charge, conçus pour l'usinage, le soudage ultrasonique, etc. L'outil ou l'embout fixé à l'extrémité de sortie du transformateur peut être considéré comme faisant partie du transducteur à mesurer.

### 4. Liste des caractéristiques fondamentales

Le tableau I spécifie les caractéristiques fondamentales à mesurer avec les méthodes correspondantes et l'indication de la catégorie du transducteur.

## SECTION ONE — INTRODUCTION

### 1. Scope

This report is applicable to magnetostrictive transducers, of both laminated metal and ferrite types, designed for producing sonic or ultrasonic acoustic power in liquid or solid media, and for different kinds of ultrasonic processing such as cutting, welding, chemical processing, etc. Transducers for information carrying signals are excluded. The transducers, which may be sonic or ultrasonic, operate at the resonance frequency and are supplied from electric power generators.

It also applies with some modifications to special transducers, for example those designed for application to molten metals, etc.

In this report only transducers with a single working frequency of resonance are considered.

### 2. Object

This report specifies the essential characteristics and the preferred methods of measurement for evaluating the performance of transducers.

### 3. Classification of transducers

In this report the transducers to be measured are classified in two categories:

#### *Category P* (ultrasonic transmitters)

Transducers, designed for radiating acoustic power in liquid. The metal diaphragm or piston, attached to the radiating end of the transducer for better matching to the medium, can be regarded as a part of the transducer itself.

#### *Category A* (ultrasonic instruments)

Transducers with or without mechanical transformers to increase the vibration amplitude or otherwise meet load requirements, designed for ultrasonic cutting, welding, etc. The tool or tip attached to the output end of the transformer can be regarded as part of the transducer to be measured.

### 4. List of essential characteristics

Table I specifies the essential characteristics to be measured together with the corresponding methods and with the indication of transducer category.

TABLEAU I

| Caractéristiques                                                   | Unités     | Catégorie du transducteur |   | Méthodes de mesures                                   |                                             | Article/<br>Paragraphe |
|--------------------------------------------------------------------|------------|---------------------------|---|-------------------------------------------------------|---------------------------------------------|------------------------|
|                                                                    |            |                           |   | Primaire                                              | Secondaire                                  |                        |
| Puissance électrique d'entrée<br>$P_e$                             | watt       | P                         | A | Wattmètre                                             |                                             | 11.1                   |
|                                                                    |            | P                         | A |                                                       | Impédance                                   | 11.2                   |
|                                                                    |            | P                         | A |                                                       | Trois voltmètres                            | 11.3                   |
| Rendement électroacoustique<br>$\eta_{ea}$                         | %          | P                         |   | Wattmètre calorimétrique                              |                                             | 12.1                   |
|                                                                    |            |                           | A | Flux de puissance                                     |                                             | 12.2                   |
|                                                                    |            | P                         | A |                                                       | Wattmètre                                   | 12.3                   |
|                                                                    |            | P                         | A |                                                       | Diagramme d'impédance (admittance)          | 12.4                   |
| Amplitude de déplacement vibratoire<br>$\xi$                       | micromètre |                           | A | Microscope optique                                    |                                             | 13.1                   |
|                                                                    |            | P                         | A |                                                       | Capteur de vibrations                       | 13.2                   |
| Fréquence de résonance<br>$f_{res}$                                | kilohertz  | P                         | A | Puissance maximale                                    |                                             | 14.1                   |
|                                                                    |            |                           | A |                                                       | Amplitude maximale                          | 14.2                   |
|                                                                    |            | P                         | A |                                                       | Impédance caractéristique                   | 14.3                   |
| Largeur de bande<br>$\Delta f$<br>Facteur de qualité mécanique $Q$ | kilohertz  | P                         | A | Caractéristique en fréquence de la puissance d'entrée |                                             | 15.1                   |
|                                                                    |            |                           | A |                                                       | Caractéristique en fréquence de l'amplitude | 15.2                   |
| Impédance électrique à la fréquence de résonance $Z_{res}$         | ohm        | P                         | A | Voltmètre et wattmètre                                |                                             | 16.1                   |
|                                                                    |            | P                         | A |                                                       | Pont                                        | 16.2                   |
|                                                                    |            | P                         | A |                                                       | Voltmètre et phasemètre                     | 16.3                   |
|                                                                    |            | P                         | A |                                                       | Trois voltmètres                            | 16.4                   |
| Impédance électrique bloquée (amortie)<br>$Z_d$                    | ohm        | P                         | A | Voltmètre et wattmètre                                |                                             | 17                     |
|                                                                    |            | P                         | A |                                                       | Pont                                        |                        |
|                                                                    |            | P                         | A |                                                       | Voltmètre et phasemètre                     |                        |
|                                                                    |            | P                         | A |                                                       | Trois voltmètres                            |                        |

TABLE I

| Characteristic                                               | Units      | Transducer category |   | Measuring methods                    |                                    | Clause/<br>Sub-clause |
|--------------------------------------------------------------|------------|---------------------|---|--------------------------------------|------------------------------------|-----------------------|
|                                                              |            |                     |   | Primary                              | Secondary                          |                       |
| Input electrical power<br>$P_e$                              | watt       | P                   | A | Wattmeter                            |                                    | 11.1                  |
|                                                              |            | P                   | A |                                      | Impedance                          | 11.2                  |
|                                                              |            | P                   | A |                                      | Three voltmeters                   | 11.3                  |
| Electroacoustical efficiency<br>$\eta_{ea}$                  | %          | P                   |   | Calorimetric-wattmeter               |                                    | 12.1                  |
|                                                              |            |                     | A | Power flow                           |                                    | 12.2                  |
|                                                              |            | P                   | A |                                      | Wattmeter                          | 12.3                  |
|                                                              |            | P                   | A |                                      | Impedance (admittance) diagram     | 12.4                  |
| Vibrational displacement amplitude<br>$\xi$                  | micrometer |                     | A | Optical microscope                   |                                    | 13.1                  |
|                                                              |            | P                   | A |                                      | Vibrometer                         | 13.2                  |
| Frequency of resonance<br>$f_{res}$                          | kilohertz  | P                   | A | Maximum power                        |                                    | 14.1                  |
|                                                              |            |                     | A |                                      | Maximum amplitude                  | 14.2                  |
|                                                              |            | P                   | A |                                      | Impedance characteristic           | 14.3                  |
| Bandwidth<br>$\Delta f$<br>Mechanical quality factor $Q$     | kilohertz  | P                   | A | Input power frequency characteristic |                                    | 15.1                  |
|                                                              |            |                     | A |                                      | Amplitude frequency characteristic | 15.2                  |
| Electrical impedance at the frequency of resonance $Z_{res}$ | ohm        | P                   | A | Voltmeter and wattmeter              |                                    | 16.1                  |
|                                                              |            | P                   | A |                                      | Bridge                             | 16.2                  |
|                                                              |            | P                   | A |                                      | Voltmeter and phasemeter           | 16.3                  |
|                                                              |            | P                   | A |                                      | Three voltmeters                   | 16.4                  |
| Blocked (damped) electrical impedance<br>$Z_d$               | ohm        | P                   | A | Voltmeter and wattmeter              |                                    | 17                    |
|                                                              |            | P                   | A |                                      | Bridge                             |                       |
|                                                              |            | P                   | A |                                      | Voltmeter and phasemeter           |                       |
|                                                              |            | P                   | A |                                      | Three voltmeters                   |                       |

## 5. Définitions et symboles des caractéristiques

### 5.1 Puissance électrique d'entrée $P_e$

La puissance active alternative  $P_e$  consommée par le transducteur à partir du générateur de puissance peut être exprimée par:

$$P_e = V_T I_T \cos \varphi$$

où:  $V_T$  est la tension d'excitation aux bornes du transducteur,  $I_T$  le courant parcourant son enroulement et  $\varphi$  le déphasage entre cette tension et ce courant.

*Note.* — Sauf spécification contraire, relative aux tensions, courants et pressions soniques, variant tous de façon sinusoïdale, les symboles utilisés sous-entendent les valeurs efficaces.

La puissance électrique totale d'entrée  $P_e$  peut être exprimée en la décomposant en plusieurs parties:

$$P_e = P_d + P_{ml} + P_a = P_d + P_m,$$

$$P_m = P_{ml} + P_a$$

où  $P_a$  est la puissance acoustique de sortie,  $P_d$  la puissance de perte magnétique due à l'hystérésis magnétique et aux courants de Foucault,  $P_{ml}$  la puissance de perte mécanique interne et  $P_m$  la puissance mécanique totale fournie par le transducteur.

Les transducteurs, polarisés par courant continu ou par courant alternatif basse fréquence  $I_{Tp}$ , absorbent, en plus de la puissance  $P_e$ , la puissance due au courant de polarisation  $P_{ep}$ :

$$P_{ep} = I_{Tp}^2 \cdot R_w$$

où  $R_w$  est la résistance de l'enroulement.

### 5.2 Rendement électroacoustique du transducteur $\eta_{ea}$

Rapport, exprimé en pourcentage, de la puissance acoustique de sortie  $P_a$  à la puissance électrique d'entrée  $P_e$ :

$$\eta_{ea} = \frac{P_a}{P_e} \cdot 100\%$$

La valeur de  $\eta_{ea}$  peut être exprimée par:

$$\eta_{ea} = \eta_{em} \cdot \eta_{ma}$$

où  $\eta_{em}$  est le rendement électromécanique du transducteur chargé et  $\eta_{ma}$  son rendement mécanique-acoustique.

#### Rendement électromécanique $\eta_{em}$

Rapport, exprimé en pourcentage, de la puissance mécanique totale  $P_m$  à la puissance électrique d'entrée  $P_e$ :

$$\eta_{em} = \frac{P_m}{P_e} \cdot 100\%$$

#### Rendement mécanique-acoustique $\eta_{ma}$

Rapport, exprimé en pourcentage, de la puissance acoustique de sortie  $P_a$  à la puissance mécanique totale  $P_m$ :

$$\eta_{ma} = \frac{P_a}{P_m} \cdot 100\% = \frac{P_a}{P_a + P_{ml}} \cdot 100\%$$

## 5. Definitions of characteristics and their symbols

### 5.1 Input electrical power $P_e$

The active a.c. power  $P_e$  consumed by the transducer from the power generator may be expressed as:

$$P_e = V_T I_T \cos \varphi$$

where:  $V_T$  is the driving voltage at the transducer terminals,  $I_T$  the current flowing through its winding, and  $\varphi$  is the phase shift between this voltage and this current.

*Note.* — For all sinusoidal varying voltages, currents and sound pressures, the relevant symbols denote the root mean square values, unless otherwise specified.

The total electrical input power  $P_e$  may be expressed as consisting of several parts:

$$P_e = P_d + P_{ml} + P_a = P_d + P_m,$$

$$P_m = P_{ml} + P_a$$

where  $P_a$  is the acoustical output power,  $P_d$  is the magnetic loss power due to magnetic hysteresis and eddy currents,  $P_{ml}$  is the internal mechanical loss power and  $P_m$  is the total mechanical power delivered by the transducer.

Transducers, polarized with direct current or low-frequency alternating current  $I_{Tp}$  consume the polarizing current power  $P_{ep}$  in addition to the a.c. power  $P_e$ :

$$P_{ep} = I_{Tp}^2 \cdot R_w$$

where  $R_w$  is the resistance of the winding.

### 5.2 Electroacoustical efficiency of the transducer $\eta_{ea}$

The ratio, expressed as a percentage, of the acoustical output power  $P_a$  to the electrical input power  $P_e$ :

$$\eta_{ea} = \frac{P_a}{P_e} \cdot 100\%$$

The value of  $\eta_{ea}$  may be expressed as

$$\eta_{ea} = \eta_{em} \cdot \eta_{ma}$$

where  $\eta_{em}$  is the electromechanical efficiency of the loaded transducer and  $\eta_{ma}$  is its mechano-acoustical efficiency.

#### *Electromechanical efficiency $\eta_{em}$*

The ratio, expressed as a percentage, of the total mechanical power  $P_m$  to the electrical input power  $P_e$ :

$$\eta_{em} = \frac{P_m}{P_e} \cdot 100\%$$

#### *Mechanoacoustical efficiency $\eta_{ma}$*

The ratio, expressed as a percentage, of acoustical output power  $P_a$  to the total mechanical power  $P_m$ :

$$\eta_{ma} = \frac{P_a}{P_m} \cdot 100\% = \frac{P_a}{P_a + P_{ml}} \cdot 100\%$$

### 5.3 Amplitude de déplacement vibratoire $\xi$

Amplitude des vibrations mécaniques de la pointe de l'appareil ultrasonique, c'est-à-dire de l'extrémité de sortie du transformateur mécanique fixé au transducteur.

### 5.4 Fréquence de résonance $f_{\text{res}}$

Fréquence correspondant à la valeur maximale de la puissance électrique d'entrée  $P_e$  ou à celle de l'amplitude de déplacement vibratoire  $\xi$  (amplitude de vitesse vibratoire  $\xi\omega$ ).

$f_{\text{res}}$  dépend de l'impédance électrique de sortie  $Z_{\text{g out}}$  du générateur de puissance d'excitation. Lorsque  $Z_{\text{g out}}$  est très petite par rapport à l'impédance électrique du transducteur  $Z$  et que la tension d'excitation est maintenue constante lorsque la fréquence varie ( $V_T = \text{constante}$ ),  $f_{\text{res}}$  coïncide en première approximation avec la fréquence d'antirésonance  $f_a$ . Lorsque  $Z_{\text{g out}}$  est très grande par rapport à l'impédance électrique du transducteur et que le courant d'excitation est maintenu constant lorsque la fréquence varie ( $I_T = \text{constante}$ ),  $f_{\text{res}}$  coïncide en première approximation avec la fréquence de résonance série  $f_r$ . Dans les conditions réelles, la fréquence de résonance  $f_{\text{res}}$  est généralement comprise entre  $f_r$  et  $f_a$ .

#### Fréquence de résonance $f_r$

Fréquence de résonance dans le cas où le transducteur est alimenté par un générateur électrique à courant constant (l'impédance de sortie  $Z_{\text{g out}}$  étant très grande par rapport à  $Z$ ); elle est pratiquement égale à la fréquence correspondant au maximum de l'impédance électrique du transducteur ou au maximum de l'amplitude de la vitesse vibratoire et au maximum de la puissance d'entrée à courant d'excitation constant.

#### Fréquence d'antirésonance $f_a$

Fréquence de résonance dans le cas où le transducteur est alimenté par un générateur électrique à tension constante (l'impédance de sortie  $Z_{\text{g out}}$  est très petite par rapport à  $Z$ ); elle est pratiquement égale à la fréquence correspondant au minimum de l'impédance électrique du transducteur ou au maximum de l'amplitude de la vitesse vibratoire et au maximum de la puissance d'entrée à courant d'excitation constant.

### 5.5 Largeur de bande $\Delta f$

Intervalle de fréquence autour de la résonance situé dans la courbe de réponse en fréquence du transducteur, limité, de part et d'autre de  $f_{\text{res}}$ , par les fréquences correspondant aux valeurs de  $P_e$  égales à la moitié de sa valeur maximale ou aux valeurs de  $\xi$  égales à 0,7 fois sa valeur maximale.

#### Courbe de réponse en fréquence (à tension constante)

On trace les valeurs de  $P_e$  ou  $\xi$  en fonction de la fréquence pour une valeur constante de  $V_T$ . Il convient que la bande de fréquences de la courbe soit élargie aussi loin qu'il est nécessaire pour caractériser convenablement le transducteur dans ses conditions de charge.

#### Courbe de réponse en fréquence (à courant constant)

On trace les valeurs de  $P_e$  ou  $\xi$  en fonction de la fréquence pour une valeur constante de  $I_T$ . Il convient que la bande de fréquence de la courbe soit élargie aussi loin qu'il est nécessaire pour caractériser convenablement le transducteur dans ses conditions de charge.

Le facteur de qualité mécanique  $Q$  d'un transducteur mesure ses pertes mécaniques; il est défini par:

$$Q = \frac{f_{\text{res}}}{\Delta f}$$