NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60500

Première édition
First edition
1974-01

Hydrophone étalon CEI

IEC standard hydrophone



Numéro de référence
Reference number
CEI/IEC 60500: 1974

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

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.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL STANDARD

CEI
IEC
60500

Première édition
First edition
1974-01

Hydrophone étalon CEI

IEC standard hydrophone

© IEC 1974 Droits de reproduction réservés — Copyright - all rights reserved

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

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

International Electrotechnical Commission 3, rue de Varembé Geneva, Switzerland
Telefax: +41 22 919 0300 e-mail: inmail@iec.ch IEC web site http: //www.iec.ch

Commission Electrotechnique Internationale
International Electrotechnical Commission
Международная Электротехническая Комиссия

CODE PRIX
PRICE CODE M

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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale

SOMMAIRE

Pages

PRÉAMBULE 4

PRÉFACE 4

Articles

1. Domaine d'application 6

2. Objet 6

3. Terminologie 6

4. Introduction 6
   4.1 Bande de fréquence 6
   4.2 Variations de sensibilité avec la température 6
   4.3 Excursion dynamique 6
   4.4 Variation de sensibilité avec la profondeur d'immersion 6
   4.5 Fidélité 6
   4.6 Type d'élément sensible 6

5. Sensibilité 6

6. Conditions électriques 8

7. Conditions mécaniques 8
   7.1 Suspension de l'élément 8
   7.2 Directivité 8
   7.3 Parties métalliques en contact avec le milieu d'immersion 10

8. Informations que le fabricant doit donner 10
   8.1 Sensibilité en tension pour un fonctionnement en champs libre 10
   8.2 Directivité 10
   8.3 Elément sensible 10
   8.4 Paramètres électriques 12
   8.5 Paramètres mécaniques 12
   8.6 Influence du milieu extérieur 12

ANNEXE A 14

Références 24

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

CONTENTS

Page

FOREWORD 5

PREFACE 5

Clause

1. Scope 7

2. Purpose 7

3. Terminology 7

4. Introduction 7
   4.1 Frequency range 7
   4.2 Temperature dependence of sensitivity 7
   4.3 Dynamic range 7
   4.4 Depth dependence of sensitivity 7
   4.5 Stability 7
   4.6 Sensor type 7

5. Sensitivity 7

6. Electrical requirements 9

7. Mechanical requirements 9
   7.1 Element suspension 9
   7.2 Directivity 9
   7.3 Metal parts exposed to the immersion medium 11

8. Information to be supplied by the manufacturer 11
   8.1 Free-field voltage sensitivity 11
   8.2 Directivity 11
   8.3 Sensor element 11
   8.4 Electrical parameters 13
   8.5 Mechanical parameters 13
   8.6 Environmental factors 13

APPENDIX A 15

References 24

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

HYDROPHONE ÉTALON CEI

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.

4) La CEI n'a fixé aucune procédure concernant le marquage comme indication d'approbation et sa responsabilité n'est pas engagée quand il est déclaré qu'un matériel est conforme à l'une de ses recommandations.

PRÉFACE

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

Les travaux commencèrent lors de la réunion tenue à Vedbæk (Danemark) en mai 1968. Un projet fut discuté lors de la réunion tenue à Oslo en septembre 1972 où il fut décidé de soumettre ce document, 29D(Bureau Central)5, à l'approbation des Comités nationaux suivant la Règle des Six Mois. Le document fut mis en circulation en mai 1973.

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

Allemagne	Japon
Australie	Norvège
Autriche	Pays-Bas
Belgique	Portugal
Canada	Royaume-Uni
Danemark	Suède
Etats-Unis d'Amérique	Suisse
France	Tchécoslovaquie
Israël	Turquie
Italie	Union des Républiques Socialistes Soviétiques

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

IEC STANDARD HYDROPHONE

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.

4) The IEC has not laid down any procedure concerning marking as an indication of approval and has no responsibility when an item of equipment is declared to comply with one of its recommendations.

PREFACE

This recommendation was prepared by Sub-Committee 29D, Ultrasonics, of IEC Technical Committee No. 29, Electroacoustics.

Work was started at the meeting held in Vedbæk (Denmark) in May 1968. A draft was discussed at the meeting held in Oslo in September 1972, where it was decided to submit the document, 29D(Central Office)5, to the National Committees for approval under the Six Months' Rule. The document was circulated in May 1973.

The following countries voted explicitly in favour of publication:

Australia	Japan
Austria	Netherlands
Belgium	Norway
Canada	Portugal
Czechoslovakia	Sweden
Denmark	Switzerland
France	Turkey
Germany	Union of Soviet Socialist Republics
Israel	United Kingdom
Italy	United States of America

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

HYDROPHONE ÉTALON CEI

1. Domaine d'application

Cette recommandation porte sur les conditions de réalisation que les hydrophones piézo-électriques étalons doivent remplir et sur les grandeurs qu'il est nécessaire de spécifier dans la définition de leurs caractéristiques.

2. Objet

On décrit les conditions et les caractéristiques qui définissent un hydrophone pouvant servir *d'hydrophone étalon CEI* lors de mesures d'étalonnage, et qui sera utilisé comme référence de laboratoire lors de comparaisons avec les hydrophones d'emploi courant.

3. Terminologie

La terminologie acoustique et électrique du Vocabulaire Electrotechnique International doit être utilisée autant que possible.

4. Introduction

Les conditions que doit remplir un hydrophone étalon destiné à être utilisé comme référence lors de mesures de niveaux de pression en acoustique sous-marine sont surtout liées à sa sensibilité en tension, mesurée en circuit ouvert et dans les conditions de champ libre.

Les spécifications générales suivantes sont applicables:

4.1 Dans une bande de fréquences d'au moins 3 décades, la sensibilité doit rester constante à ± 1,5 dB.

En général, la limite inférieure de cet intervalle de fréquence ne sera pas plus petite que 1 Hz, la limite supérieure ne dépassera pas 100 kHz.

4.2 Entre les températures de 5 °C et 25 °C, la sensibilité ne devra pas varier de plus de ± 0,5 dB par rapport à sa valeur mesurée à 15 °C.

4.3 Lors d'une excursion dynamique de 60 dB, la tension de sortie de l'hydrophone sera une fonction linéaire de la pression acoustique en champ libre à au moins ± 0,5 dB.

4.4 Pour une profondeur d'immersion variant de 0 à 10 m, la sensibilité ne devra pas varier de plus de ± 0,5 dB par rapport à sa valeur nominale.

4.5 La fidélité de l'hydrophone devra être telle qu'un étalonnage puisse rester valable pendant au moins une année. C'est pourquoi l'hydrophone devra être réétalonné dans des délais n'excédant pas une année.

4.6 L'élément sensible sera du type piézo-électrique.

Voir l'annexe A, paragraphe A1.2.

5. Sensibilité

Dans les gammes de fréquences et dynamiques spécifiées, le niveau de sensibilité en champ libre de la tension en circuit ouvert de l'hydrophone étalon doit être compris entre −180 dB et −200 dB, réf. 1 V par µPa (ou −80 dB et −100 dB, réf. 1 V par µbar).

Note. — La réponse en fréquence d'un hydrophone piézo-électrique présente une partie constante, limitée vers les basses fréquences par la fréquence de coupure déterminée par la capacité de l'élément piézo-électrique et la charge résistive sur cette capacité. Aux hautes fréquences la sensibilité peut varier soit par diffraction soit à la suite de la résonance mécanique de l'élément sensible.

A environ une octave en dessous de cette fréquence de résonance, la courbe de réponse amorce sa montée. Conformément au paragraphe 4.1, ces variations de réponse dans la partie constante de la courbe devront être inférieures à 3 dB sur un intervalle de fréquence d'au moins 3 décades. Dans ces conditions, la fréquence de coupure basse et la fréquence de résonance devront être séparées par un intervalle d'au moins quatre décades.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

IEC STANDARD HYDROPHONE

1. Scope

This recommendation covers the design requirements of standard piezoelectric hydrophones and the data required to specify their characteristics.

2. Purpose

Requirements and characteristics are given to specify a hydrophone which is suitable as an *IEC standard hydrophone* for calibration purposes, to be used as a laboratory standard for comparison with other hydrophones intended for daily use.

3. Terminology

The acoustical and electrical terminology of the International Electrotechnical Vocabulary shall be used wherever possible.

4. Introduction

The requirements for a standard hydrophone to be used as a reference for underwater sound pressure levels are mainly concerned with its free-field open-circuit voltage sensitivity.

The following general specifications shall apply:

4.1 Over a frequency range of at least 3 decades the sensitivity level shall be constant within ± 1.5 dB.

Generally, the lower limit of this frequency range will not be lower than 1 Hz and the upper limit will not exceed 100 kHz.

4.2 Between the temperatures of 5 °C and 25 °C, the sensitivity level shall not deviate by more than ± 0.5 dB from the value at 15 °C.

4.3 Within a dynamic range of 60 dB, the output voltage of the hydrophone shall be linear with the free-field sound pressure within ± 0.5 dB.

4.4 At any depth between 0 and 10 metres, the sensitivity level shall not differ by more than ± 0.5 dB from the nominal value.

4.5 The stability of the hydrophone shall be such that a calibration can be trusted over a period of at least one year. Therefore the hydrophone should preferably be recalibrated at intervals not longer than one year.

4.6 The sensor shall be of the piezoelectric type.

See Appendix A, Sub-clause A1.2.

5. Sensitivity

Over the specified frequency and dynamic ranges, the free-field open-circuit voltage sensitivity level of the standard hydrophone shall be between −180 dB and −200 dB *re* 1 V per µPa (or −80 dB and −100 dB *re* 1 V per µbar).

Note. — The frequency response curve of a piezoelectric hydrophone has a flat part, limited at the lower frequency end by the lower cut-off frequency due to the capacitance of the piezoelectric element and the resistive load on this capacitance. At the higher frequency end, the sensitivity may change either by diffraction effects or as a result of mechanical resonance of the sensor element.

Approximately one octave below this resonance frequency, the frequency response curve starts to rise. In accordance with Sub-clause 4.1, the deviation in the flat part of the frequency response curve shall be less than 3 dB over at least three frequency decades. Hence the lower cut-off frequency and the resonance frequency shall be at least four decades apart.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

6. Conditions électriques

L'hydrophone devra être relié à un câble blindé ayant une longueur minimale de 10 m.

La résistance de fuite à l'extrémité du câble doit être d'au moins 100 MΩ (tension d'essai 100 V).

L'élément sensible à haute impédance doit être muni d'un blindage électrique et les parties métalliques exposées du boîtier et du blindage de l'hydrophone doivent être reliées au blindage du câble. Si la capacité de l'élément sensible est plus faible que la capacité du câble, on devra incorporer un préamplificateur.

Pour réaliser l'étalonnage d'un système complet de signal de mesure, il est nécessaire d'insérer une résistance de 1 Ω à 10 Ω entre l'élément sensible et le point bas de l'entrée du préamplificateur. L'envoi d'un signal électrique calibré dans cette résistance, par l'intermédiaire de deux conducteurs du câble, indépendants du circuit de sortie du préamplificateur, permet un étalonnage d'ensemble de l'hydrophone, de l'analyseur, de l'enregistreur magnétique ou de tout autre matériel périphérique. Dans tous les cas la connexion de masse de l'élément sensible doit être séparée du boîtier de l'hydrophone et du blindage du câble.

Pour les fréquences supérieures, une grande longueur de câble provoque des pertes et des ondes stationnaires qui modifient la valeur de la tension de sortie mesurée en circuit ouvert. Dans ces conditions, on doit utiliser un câble fermé à ses deux extrémités sur son impédance caractéristique.

Les deux bornes de la résistance d'étalonnage doivent être reliées à des conducteurs distincts dans le câble, de sorte que le courant d'étalonnage ne passe ni par le conducteur de masse du signal de sortie ni par le blindage du câble. La diaphonie entre le signal d'étalonnage et le signal de sortie doit être inférieure à —40 dB.

Note. — L'étalonnage du système par la technique de la tension insérée n'est valable que lorsque la capacité en parallèle du câble a une impédance beaucoup plus grande que la résistance insérée.

7. Conditions mécaniques

7.1 *Suspension de l'élément*

La suspension de l'élément sensible doit être telle que la fréquence de résonance mécanique, relative à la masse de l'élément combinée à la complaisance de la suspension, soit située au-dessous de la bande de fréquences spécifiée.

(A cette fréquence de résonance, le mouvement de l'élément induit par la vibration du boîtier du préamplificateur peut produire une tension dans les bornes de l'élément sensible et l'hydrophone peut être sensible à un gradient de pression.)

L'élément sensible sera acoustiquement rigide par rapport à son milieu d'immersion (c'est-à-dire que son élasticité en volume ne sera pas plus grande que celle d'un volume d'eau équivalent) si bien que sa présence dans un système d'étalonnage à coupleur utilisé pour l'étalonnage en basse fréquence ne modifie pas le niveau de pression acoustique. De cette façon, on réalise les conditions d'étalonnage en champ libre.

Note. — Cette caractéristique est également utile lors d'un étalonnage par comparaison en champ libre, lorsque l'étalon et l'hydrophone à étalonner sont immergés simultanément dans le champ acoustique. Si les dimensions de l'hydrophone sont faibles par rapport à la longueur d'onde du signal acoustique, la présence d'un hydrophone acoustiquement rigide ne modifiera pas de façon appréciable la pression acoustique en champ libre.

Se rapporter à la norme CEI concernant l'étalonnage des hydrophones (en préparation).

7.2 *Directivité*

Lors d'un étalonnage en champ libre, l'hydrophone étalon sera omnidirectionnel en azimut.

La déviation d'un modèle idéal omnidirectionnel ne doit pas dépasser +0 et —3 dB.

Note 1. — L'élément sensible d'assez faibles dimensions pour être omnidirectionnel dans le plan horizontal pourra avoir soit une faible sensibilité, soit une faible capacité, éventuellement les deux caractéristiques à la fois. La sensibilité ne devra pas être en dessous de la valeur minimale définie à l'article 5. Cependant, la capacité devra, de préférence, ne pas être inférieure à la capacité en parallèle due aux connexions et à l'impédance d'entrée du préamplificateur. Afin d'augmenter la capacité de l'élément sensible sans modifier sa sensibilité, on peut le diviser en un certain nombre d'éléments, découplés mécaniquement, mais reliés électriquement en parallèle. On devra noter que la longueur de l'empilement définit la directivité verticale à la limite supérieure de la bande de fréquences utile. Les dimensions des éléments individuels définissent la fréquence de résonance mécanique et par-là même, la limite supérieure de la bande de fréquences utile.

Note 2. — Un hydrophone nécessite un support pour sa fixation et la détermination de sa position dans le champ acoustique. Une réalisation courante consiste à placer l'élément sensible dans une enveloppe acoustiquement transparente, elle-même placée en dessous du boîtier du préamplificateur, le câble de liaison sortant au-dessus de ce boîtier. Le support est lié soit au boîtier du préamplificateur, soit au câble. La directivité dans le plan vertical doit être telle que l'influence du boîtier du préamplificateur et de la structure du support sur la sensibilité ne dépasse pas 1 dB dans la gamme de fréquences spécifiée par le fabricant suivant le paragraphe 8.1.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

6. Electrical requirements

The hydrophone shall be connected to a shielded cable with a length of at least 10 m.

The end-of-cable leakage resistance shall be at least 100 MΩ (test voltage 100 V).

Electrical shielding of the high impedance sensor element shall be provided and exposed metal parts of the hydrophone housing and shield shall be connected to the cable shield. If the sensor element has a capacitance smaller than the capacitance of the cable, a preamplifier shall be incorporated.

For the calibration of a complete signal measuring system, a resistor of 1 Ω to 10 Ω shall be inserted between the sensor element and the lower side of the preamplifier input. Insertion of a calibrated electrical signal across this resistor through two wires in the cable, independent of the preamplifier output circuit, yields an overall calibration of the hydrophone, analyser, tape recorder or other auxiliary equipment. In any case, the sensor element earth connection shall be kept separate from the hydrophone case and cable shield.

Long cables at higher frequency will alter the measured end-of-cable open circuit voltage due to cable losses and standing waves. Under these conditions, a cable terminated at each end by its characteristic impedance shall be used.

Both sides of the calibration resistor shall be connected to separate wires in the cable, so that the calibration current does not flow through the earth lead of the output signal, nor through the cable shield. Cross-talk between the calibration signal and the output signal shall be less than −40 dB.

Note. — Calibration of the system by the insert voltage technique is valid only when the shunt capacitance of the cable has an impedance much greater than the insert resistance.

7. Mechanical requirements

7.1 *Element suspension*

The suspension of the sensor element shall be such that the frequency of mechanical resonance, caused by the mass of the element and the compliance of the suspension, falls below the specified frequency range.

(At this resonance frequency, the movement of the element induced by the vibration of the preamplifier case may generate a voltage across the sensor terminals and the hydrophone may be sensitive to a pressure gradient.)

The sensor element shall be acoustically stiff relative to its environment (i.e. its volume compliance shall not be greater than that of an equivalent volume of water) so that its presence in a coupler calibrator for low frequency calibration does not affect the pressure level. In this way a free-field calibration is obtained.

Note. — This characteristic is also useful in a free-field comparison calibration when the standard hydrophone and the hydrophone to be calibrated are simultaneously immersed in the sound field. If the hydrophone dimensions are small in relation to the wavelength of sound, the presence of an acoustically stiff hydrophone will not noticeably alter the free-field sound pressure.

See IEC recommendation for calibration of hydrophones (in preparation).

7.2 *Directivity*

For free-field calibrations, the standard hydrophone shall be omnidirectional in azimuth.

The deviation from an ideal omnidirectional pattern should not exceed +0 and −3 dB.

Note 1. — A sensor element which is small enough to be omnidirectional in azimuth may have a low sensitivity or a low capacitance, or both. The sensitivity level shall not be below the minimum value given in Clause 5. The capacitance should preferably not be lower than the shunt capacitance formed by the connecting wires and the preamplifier input circuitry. In order to increase the capacitance without affecting the sensitivity, an array of multiple elements, mechanically uncoupled but electrically connected in parallel, may be extended in the vertical direction. It should be borne in mind that the length of the array determines the vertical directivity at the upper limit of the useful frequency range. The size of the individual elements determines the frequency of mechanical resonance and hence the upper limit of the useful frequency range.

Note 2. — A hydrophone will require some support structure for positioning it in the sound field. In a typical design, the sensor element is housed in an acoustically transparent capsule beneath the preamplifier case with the cable coming out at the top. The support structure is attached to the preamplifier case or the cable. The directivity in the vertical plane must be such that the influence of the preamplifier case and the supporting structure on the sensitivity does not exceed 1 dB in the frequency range specified by the manufacturer according to Sub-clause 8.1.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

7.3 *Parties métalliques en contact avec le milieu d'immersion*

Toutes les parties métalliques de l'hydrophone en contact avec l'eau doivent être réalisées en un materiau résistant à la corrosion. L'usage de métaux dissemblables sera à proscrire en raison d'une éventuelle corrosion électrochimique. Il est en général souhaitable de recouvrir toutes les parties métalliques avec un élastomère.

Note. — L'apparition de différences de potentiel entre les différentes parties du boîtier lorsque l'hydrophone est immergé dans l'eau de mer pourrait augmenter le niveau de bruit électrique dans le système de mesure.

8. Informations que le fabricant doit donner

Le fabricant de l'hydrophone étalon devra indiquer les caractéristiques suivantes:

8.1 *Sensibilité en tension pour un fonctionnement en champ libre*

1) Fréquence fondamentale de résonance mécanique de l'élément sensible — Hz
2) Etendue de la bande de fréquences dans laquelle la réponse est constante à 3 dB près — Hz
3) Niveau de la sensibilité, dans la bande où la réponse en fréquence est constante, réf. 1 V/μPa — dB

8.1.1 *Hydrophone sans préamplificateur*

Courbe des réponses en fréquence:

1) de la sensibilité mesurée en extrémité du câble
2) de la capacité totale vue de la sortie du câble
3) de la résistance de fuite mesurée en extrémité du câble

8.1.2 *Hydrophone équipé d'un préamplificateur*

8.1.2.1 *Elément sensible*

1) Courbe de la sensibilité en tension en circuit ouvert en fonction de la fréquence
2) Capacité — pF

8.1.2.2 *Préamplificateur*

1) Courbe de réponse en fréquence
2) Gain nominal — dB
3) Impédance d'entrée — Ω
4) Impédance de sortie — Ω
5) Impédance de charge minimale — Ω
6) Impédance caractéristique du câble — Ω
7) Niveau maximal de sortie, réf 1 V — dB
8) Niveau de pression acoustique produisant une surcharge, réf. 1 μPa — dB
9) Valeur crête maximale de la pression acoustique admissible, réf. 1 μPa — dB
10) Courbe du niveau spectral équivalent de bruit, référé à la pression
11) Valeur maximale du niveau spectral équivalent de bruit référé, à la pression, réf. 1 $\mu Pa/\sqrt{Hz}$ — dB
12) Dynamique — dB
13) Procédé de calibrage:

13.1) Valeur de la résistance à tension insérée — Ω

13.2) Schéma de principe montrant les connexions entre l'élément sensible, le préamplificateur, la résistance à tension insérée, le câble, l'écran et les parties métalliques exposées.

8.2 *Directivité*

1) Diagrammes de directivité dans les plans horizontal et vertical pour les quatre fréquences types les plus élevées, telles que définies dans la recommandation ISO R 266: Fréquences normales pour les mesures acoustiques
2) Longueur de la ligne équivalente à la fréquence limite supérieure — mm

8.3 *Elément sensible*

1) Matériau constitutif
2) Dimensions de l'élément sensible — mm^3

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

7.3 *Metal parts exposed to the immersion medium*

All metal parts of the hydrophone exposed to water shall be made of corrosion-resistant material. The use of dissimilar metals shall be avoided because of electrochemical corrosion that may occur. It is generally desirable to coat all metal parts with an elastomer.

Note. — The existence of potential differences between different parts of the case when the hydrophone is immersed in sea water could give rise to electrical noise in the measuring system.

8. Information to be supplied by the manufacturer

The manufacturer of the standard hydrophone shall state the following characteristics:

8.1 *Free-field voltage sensitivity*

1) Frequency of fundamental mechanical resonance of the sensor	Hz
2) Frequency range of flat frequency response curve within 3 dB limits	Hz
3) Sensitivity level in flat part of frequency response *re* 1 V/μPa	dB

8.1.1 *Hydrophone without preamplifier*

Frequency response curves of:

1) end-of-cable sensitivity
2) end-of-cable capacitance
3) end-of-cable leakage resistance.

8.1.2 *Hydrophone with preamplifier*

8.1.2.1 *Sensor element*

1) Frequency response curve of open circuit voltage sensitivity	
2) Capacitance	pF

8.1.2.2 *Preamplifier*

1) Frequency response curve	
2) Nominal gain	dB
3) Input impedance	Ω
4) Output source impedance	Ω
5) Minimum allowable load impedance	Ω
6) Characteristic impedance of cable	Ω
7) Maximum output signal level *re* 1 V	dB
8) Overload sound pressure level *re* 1 μPa	dB
9) Maximum safe peak sound pressure level *re* 1 μPa	dB
10) Curve of equivalent noise pressure spectrum level versus frequency	
11) Maximum value of equivalent noise pressure spectrum level *re* 1 μPa/$\sqrt{\text{Hz}}$	dB
12) Dynamic range	dB
13) Calibration provision:	
13.1) Value of insert voltage resistor	Ω
13.2) Circuit diagram showing the connections between sensor element, preamplifier, insert voltage resistor, cable, screens and exposed metal parts.	

8.2 *Directivity*

1) Horizontal and vertical directivity patterns at the four highest preferred frequencies of the specified frequency range in accordance with ISO Recommendation R 266: Preferred frequencies for acoustical measurements	
2) Equivalent line length up to the high frequency limit	mm

8.3 *Sensor element*

1) Element material	
2) Size of sensor element	mm^3

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

8.4 *Paramètres électriques*

8.4.1 *Spécifier le type de blindage électrostatique*

8.4.2 *Montrer le schéma des connexions avec le câble*

8.4.3 *Alimentation des circuits électroniques*

1) Tension d'alimentation du préamplificateur	V
2) Intensité du courant	mA
3) Ondulation résiduelle maximale	%
4) Stabilité nécessaire	%
5) Impédance de source	Ω

8.5 *Paramètres mécaniques*

1) Nature du métal en contact avec le liquide d'immersion	
2) Nature de l'élastomère en contact avec le liquide d'immersion	
3) Nature de l'huile employée	
4) Position de l'élément sensible	
5) Longueur de câble	m
6) Dimensions (câble exclu)	mm
7) Poids (câble inclus)	kg

8.6 *Influence du milieu extérieur*

1) Température de fonctionnement	°C
2) Variations du niveau de la sensibilité en tension en champ libre dans la gamme de température spécifiée	dB
3) Profondeur d'immersion maximale en fonctionnement	m
4) Variation de la sensibilité en tension en champ libre, dans la gamme de profondeur spécifiée	dB
5) Gamme de température de stockage	°C
6) Résistance à la lumière solaire, à l'oxygène, aux agents chimiques, aux radiations ionisantes, et aux chocs mécaniques.	

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

8.4 *Electrical parameters*

8.4.1 *Specify the type of electrostatic shield*

8.4.2 *Show diagram of cable connections*

8.4.3 *Power requirements for electronic circuits*

1) Power supply voltage to preamplifier	V
2) Current drain	mA
3) Maximum ripple allowed	%
4) Required stability	%
5) Source impedance	Ω

8.5 *Mechanical parameters*

1) Type of exposed metal in contact with the immersion liquid	
2) Type of exposed elastomer in contact with the immersion liquid	
3) Type of oil	
4) Position of sensor element	
5) Cable length	m
6) Size without cable	mm
7) Weight with cable	kg

8.6 *Environmental factors*

1) Operating temperature range	°C
2) Variation of free-field voltage sensitivity level over the specified temperature range	dB
3) Maximum operating depth	m
4) Variation of free-field voltage sensitivity level over the specified depth range	dB
5) Storage temperature range	°C
6) Sensitivity to sunlight, oxygen, chemicals, ionizing radiation and mechanical shock	

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

ANNEXE A

A1 Grandeurs générales de définition

A1.1 *Introduction*

En acoustique sous-marine, l'étalon primaire de mesure acoustique est l'hydrophone. A la différence de l'acoustique aérienne, où le microphone à condensateur est très employé, l'hydrophone est en général constitué d'un élément sensible piézo-électrique et d'un préamplificateur incorporé.

Une très large bande de fréquences utile, une bonne fidélité dans le temps, un niveau équivalent de bruit référé à la pression très faible, et des variations de sensibilité à la température ambiante et aux variations de profondeur d'immersion sont quelques aspects que le réalisateur d'un hydrophone doit considérer.

La limite supérieure de la gamme de fréquences utile est définie par la fréquence de résonance mécanique de l'élément piézo-électrique. On obtient une fréquence de résonance élevée lorsqu'on utilise un élément de faibles dimensions, mais cela limite alors la capacité et la sensibilité. A l'heure actuelle on ne peut obtenir une très bonne fidélité qu'avec des matériaux de relativement faible sensibilité. C'est pourquoi il est difficile de concilier une large bande de fréquences utile et une bonne fidélité avec une grande sensibilité.

La grande impédance acoustique spécifique de l'eau peut introduire de multiples chemins de couplage entre l'eau et l'élément sensible par l'intermédiaire du boîtier de l'hydrophone et du câble. Il peut alors en résulter des anomalies de sensibilité et de directivité en fonction de la fréquence, de la température et de la profondeur d'immersion (voir réf. 12).

L'élément sensible doit comprendre un ou plusieurs cristaux ou céramiques piézo-électriques. Le matériau de l'élément sensible doit être soigneusement choisi en vue de satisfaire aux prescriptions figurant dans le texte principal, article 4.

A1.2 *Matériau constitutif du transducteur*

On peut utiliser, pour réaliser un hydrophone étalon, un élément en sulfate de lithium ou l'une des céramiques piézo-électriques à base de métaniobate de plomb ou de zirconate de plomb. Ces céramiques ne sont pas aussi fidèles que le sulfate de lithium, mais elles permettent d'obtenir un hydrophone présentant un niveau équivalent de bruit référé à la pression plus faible, pour un même directivité et une même bande de fréquences utile.

La sensibilité du sulfate de lithium varie de moins de 1% depuis 0 jusqu'à 1 600 m (voir réf. 1) et entre 20 °C et 0 °C. Par contre, le métaniobate de plomb varie de 1,5% et le titanate zirconate de plomb de 2 à 3% pour une même excursion de profondeur d'immersion (voir réf. 1 et 2) et de température.

Le vieillissement ou une contrainte prolongée restent sans effet sur la sensibilité du sulfate de lithium, mais modifient les caractéristiques des céramiques piézo-électriques (voir réf. 3). D'autres cristaux piézo-électriques ou bien ont une permittivité relative plus faible (tourmaline) ou bien nécessitent l'emploi d'un matériau instable pour isoler du champ acoustique certaines de leurs faces (par exemple le monophosphate d'ammonium ou le sel de Seignette).

A1.3 *Sensibilité*

Un hydrophone étalon doit être assez sensible pour permettre des mesures sur des signaux de faible intensité. Son niveau de bruit propre devrait de préférence être voisin du niveau de bruit ambiant, lequel ne sera jamais inférieur au niveau minimal existant en eau libre (voir réf. 10).

A des fréquences supérieures à 1 kHz, ce niveau, exprimé en valeur spectrale, est approximativement:

de 20 dB, la référence étant 1 μPa par Hz, ou
de −80 dB, la référence étant 1 μbar par Hz.

Le niveau de bruit électronique ramené à l'entrée d'un bon amplificateur, et à condition que l'impédance d'entrée soit grande par rapport à l'impédance de l'hydrophone, sera en général inférieur à

−160 dB, la référence étant 1 V par Hz.

Si le niveau de bruit propre de l'hydrophone équivaut aux niveaux de bruit acoustique ambiant, la sensibilité de l'hydrophone est alors égale à:

−180 dB, la référence étant 1 V par μPa (soit −80 dB, la référence étant 1 V par μbar).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

APPENDIX A

A1 General design requirements

A1.1 *Introduction*

In underwater acoustics, the primary standard for sound pressure measurements is the hydrophone. Unlike airborne sound, where the condenser microphone is so widely used, the hydrophone is generally of the piezoelectric type with a built-in preamplifier.

Maximum operating frequency range and stability with age, minimum equivalent noise pressure level and sensitivity change in ambient temperature and operating depth are some of the aspects the designer of the hydrophone needs to consider.

The upper limit of the useful frequency range is determined by the frequency of mechanical resonance of the piezoelectric element. A high resonance frequency requires a small element, but this small size limits the obtainable capacitance and sensitivity. A high stability can nowadays be obtained only with a relatively insensitive material. Hence a large frequency range and a high stability are difficult to combine with a high sensitivity.

The high specific acoustic impedance of the water may create multiple paths of coupling between the water and the piezoelectric element through the hydrophone housing and the cable. Anomalies in the sensitivity and the directivity as a function of frequency, temperature and operating depth may then occur (see reference 12).

The sensor element will consist either of a stack of piezoelectric crystals or one or more piezoelectric ceramic elements. The sensor material must be selected carefully in order to meet the requirements stated in the main text (see Clause 4).

A1.2 *Sensor material*

The standard hydrophone should use lithium sulphate or one of the piezoelectric ceramics such as lead metaniobate or lead zirconate compositions. These ceramics are not as stable with time, temperature and depth as lithium sulphate, but they will yield a hydrophone having a lower equivalent noise pressure level for the same directivity and bandwidth.

The sensitivity of lithium sulphate will change less than 1% from 0 to 1 600 m (see reference 1) and from 20 °C to 0 °C. By comparison, lead metaniobate will change 1.5% and lead zirconate titanate 2 to 3% over the same range of depth (see references 1 and 2) and temperature.

Ageing or prolonged stress will not affect the sensitivity of lithium sulphate but will affect the piezoelectric ceramics (see reference 3). Other piezoelectric crystals have either a lower dielectric constant (tourmaline), or require an unstable insulation material to shield two or more surfaces from the sound field (e.g. ammonium dihydrogen phosphate ADP, Rochelle salt).

A1.3 *Sensitivity*

A standard hydrophone should be sensitive enough to measure weak signals, and its own noise level should preferably be close to the background noise level, which will never be lower than the lowest level occurring in open water (see reference 10).

At frequencies higher than 1 kHz this level, expressed as spectrum level, is approximately:

20 dB *re* 1 μPa in 1 Hz bandwidth, or
−80 dB *re* 1 μbar in 1 Hz bandwidth.

The electronic noise level at the input of a good amplifier, provided that the input impedance is high compared with the impedance of the hydrophone, will generally be less than:

−160 dB *re* 1 V in 1 Hz bandwidth.

If the own noise level of the hydrophone is equal to the acoustical background noise level, then the sensitivity level of the hydrophone need not be greater than:

−180 dB *re* 1 V per μPa (−80 dB *re* 1 V per μbar).

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Un hydrophone étalon n'est pas destiné à des mesures de niveaux de bruit acoustique ambiant. C'est pourquoi on ne demande pas une meilleure sensibilité. De plus, une meilleure sensibilité est même à éviter car de forts signaux pourraient surcharger le préamplificateur.

Les signaux les plus intenses qui sont produits par des émetteurs usuels de laboratoire ont un niveau voisin de:

+180 dB, la référence étant 1 μPa (soit +80 dB, la référence étant 1 μbar).

Ces signaux sont captés et amplifiés sans filtres et ils peuvent être utilisés dans une large bande de fréquences. Le niveau de bruit électronique mesuré en large bande et ramené à l'entrée d'un préamplificateur est en général de l'ordre de:

−100 dB, la référence étant 1 V.

Pour que ce bruit soit sans effet sur la mesure, le niveau minimal du signal doit lui être supérieur de plus de 20 dB, soit:

−80 dB, la référence étant 1 V.

Si une dynamique de 60 dB est requise, ce qui n'est pas excessif pour un appareillage électroacoustique, les plus forts signaux que recueillera l'hydrophone produiront une tension électrique d'au moins:

−20 dB, la référence étant 1 V.

Puisqu'on a vu par ailleurs que le niveau acoustique maximal sera voisin de:

+180 dB (référence de 1 μPa), ou
+80 dB (référence de 1 μbar).

La sensibilité de l'hydrophone devra être au minimum de:

−200 dB, la référence étant de 1 V par μPa, ou
−100 dB, la référence étant de 1 V par μbar.

Il en découle que la sensibilité de l'hydrophone devra être comprise entre:

−180 dB et −200 dB, la référence étant de 1 V par μPa.
−80 dB et −100 dB, la référence étant de 1 V par μbar.

A1.4 *Conditions électriques*

A1.4.1 *Sortie flottante*

Lors de l'exécution du programme international d'étalonnage, tous les laboratoires, sauf un (voir réf. 4), ont procédé à l'étalonnage de l'hydrophone avec une sortie non flottante. Ce procédé paraît préférable et logique car un dispositif électroacoustique ne peut être vraiment électriquement flottant, par suite de capacités parasites non compensées.

A1.4.2 *Capacité optimale*

Un hydrophone destiné à la mesure de faibles signaux dans une large bande de fréquences ultrasonores comporte un élément sensible de faibles dimensions ayant soit une faible capacité, soit une faible sensibilité, soit les deux caractéristiques à la fois.

La capacité d'un élément sensible en forme de disque de dimensions données et réalisé à partir d'un matériau défini peut être augmentée en divisant cet élément en un certain nombre de tranches planes parallèles d'égale épaisseur, perpendiculairement à la direction du champ électrique, des électrodes étant disposées entre chaque plaque. Les électrodes de même polarité sont ensuite reliées les unes aux autres (voir réf. 13).

La division d'un élement unique en, par exemple, deux parties égales multiplie la capacité par quatre, mais divise la sensibilité par deux.

En notant C la capacité et M la sensibilité, la relation entre ces deux grandeurs pour un élément de dimensions données et un même matériau s'exprime par:

$$M\sqrt{C} = K$$

K étant une constante.

Une capacité C_1 connectée en parallèle à l'élément sensible, et due aux connexions, réduit la sensibilité réelle à la valeur M_1 donnée par la relation:

$$M_1 = M\frac{C}{C + C_1} = \frac{K\sqrt{C}}{C + C_1}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

A standard hydrophone is not intended to be used for the measurement of background noise levels. Therefore a higher sensitivity is not required. Moreover, a higher sensitivity is even undesirable because strong signals may overload the preamplifier if the hydrophone is too sensitive.

The strongest signal levels to be produced by normal laboratory transducers for calibration purposes will generally be of the order of:

+180 dB *re* 1 μPa (+80 dB *re* 1 μbar).

These signals are received and amplified without band filters, and they may cover a large frequency range. The broad band electronic noise level at the input of a preamplifier may be of the order of:

−100 dB *re* 1 V.

The minimum signal level that will not be influenced by this noise must be at least 20 dB higher:

−80 dB *re* 1 V.

If a dynamic range of 60 dB is required, which is not extraordinarily high for an electroacoustic system, the strongest signals to be received by the hydrophone should produce at least an electrical voltage level of:

−20 dB *re* 1 V.

As the strongest acoustical level is held to be of the order of:

+180 dB *re* 1 μPa (+80 dB *re* 1 μbar),

the sensitivity level of the hydrophone should be at least:

−200 dB *re* 1 V per μPa, or
−100 dB *re* 1 V per μbar.

Hence the sensitivity level of the hydrophone should preferably be between:

−180 and −200 dB *re* 1 V per μPa, or
−80 and −100 dB *re* 1 V per μbar.

A1.4 *Electrical requirements*

A1.4.1 *Signal lead balance*

In the International Round-Robin Calibration Programme (see reference 4), all but one laboratory calibrated the hydrophones with an unbalanced connection. This seems to be preferred and logical since no electroacoustic device can be truly balanced electrically due to unbalanced stray capacitance.

A1.4.2 *Optimum capacitance*

A hydrophone for the measurement of low signal levels over a large ultrasonic frequency range has a small sensitive element with either a low capacitance or a low sensitivity or both.

The capacitance of a disc-shaped sensor element of a given size and made of a given material can be increased if the element is divided into a number of plane parallel slabs of equal thickness, normal to the direction of the electric field, with electrodes in between. The electrodes with similar polarity are then connected together (see reference 13).

Division of a single crystal into, for example, two equal slabs increases the capacitance by a factor four, but reduces the sensitivity to half its original value.

If the capacitance of the element is denoted by C and the sensitivity by M, the relation between M and C for a given size of element of a given material is expressed by:

$$M\sqrt{C} = K$$

where K is a constant.

A shunt capacitance C_1, caused by wires or by a cable connected to the sensor element, reduces the effective sensitivity to M_1, given by the relation:

$$M_1 = M\frac{C}{C + C_1} = \frac{K\sqrt{C}}{C + C_1}$$

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Pour une certaine valeur de C_1, la sensibilité M_1 peut être modifiée par la variation de C, et passe par un maximum lorsque $C = C_1$ (voir réf. 13).

Ce maximum est d'autant plus grand que C_1 est plus petit.

C'est pourquoi, pour un élément de dimensions données et pour une capacité de liaison définie, la configuration des électrodes doit être choisie de façon que la capacité de l'élément soit égale à la capacité du câble de liaison, alors que pour obtenir une grande sensibilité cette capacité doit être faible.

Dans ces conditions, un hydrophone destiné à travailler à des fréquences ultrasonores élevées doit comporter un préamplificateur proche de l'élément sensible.

A1.4.3 *Résistance d'entrée de l'amplificateur*

La résistance d'entrée du préamplificateur doit être suffisamment grande pour que la fréquence de coupure:

$$f = \frac{1}{2\pi R(C + C_1)}$$

ne soit pas plus élevée que la limite inférieure de l'intervalle de fréquence utile.

De plus, on peut montrer que plus cette résistance R est élevée plus le bruit thermique causé par cette résistance et ramené à l'entrée sera faible. Une résistance d'entrée de l'ordre de 100 MΩ est tout à fait normale pour un amplificateur incorporé à l'hydrophone.

A1.4.4 *Niveau du seuil de bruit équivalent, référé à la pression*

Le niveau du seuil de bruit équivalent, référé à la pression pour un hydrophone est déterminé par le niveau de bruit électronique ramené à l'entrée du préamplificateur et par la sensibilité de l'élément. Les limites de cette sensibilité et de la capacité de l'élément sensible dues à une utilisation en hautes fréquences imposent une limite inférieure à ce niveau de seuil de bruit équivalent, référé à la pression.

Un abaissement de ce seuil est possible soit en augmentant les dimensions de l'élément, mais ceci abaisse alors la limite supérieure en fréquence, soit en utilisant un matériau plus sensible que le sulfate de lithium, tel qu'une céramique piézo-électrique.

A titre de comparaison avec le sulfate de lithium, on obtiendra par exemple un niveau de seuil inférieur de 3 dB en utilisant du métaniobate de plomb et de 8 dB à 15 dB en utilisant du titano-zirconate de plomb.

Les caractéristiques d'un hydrophone destiné à la mesure du bruit ont été analysées par différents auteurs (voir réf. 5, 6, 7, 8 et 9). L'article cité en référence 9 réunit les caractéristiques souhaitables en donnant comme but à atteindre: un grand coefficient de couplage électromécanique, une faible impédance acoustique caractéristique, et une fréquence de résonance peu supérieure à la limite de la bande passante désirée. Le bruit acoustique ambiant dans la mer est donné dans la référence 10.

A1.5 *Caractéristiques mécaniques*

La stabilité d'un hydrophone dans le temps et en fonction de la température ambiante et de la profondeur d'immersion dépend de l'élément sensible et de la nature du couplage entre l'élément et le champ acoustique. En effet, les propriétés acoustiques du milieu de couplage, par exemple des matériaux plastiques ou caoutchoutés, peuvent varier avec la température ou par suite d'une pénétration d'humidité. La présence de bulles d'air ou celle d'air dans les matériaux des joints ou de l'isolation mécanique peuvent faire varier la sensibilité de l'hydrophone selon la profondeur d'immersion.

La directivité peut varier en fonction de la profondeur d'immersion, en particulier s'il existe divers trajets de couplage entre l'eau et l'élément sensible. Pour l'un ou l'autre de ces trajets, le couplage peut varier fortement avec la profondeur d'immersion si des joints plats du type à compression sont utilisés dans la réalisation de l'hydrophone. Les joints toriques sont moins sensibles aux variations de pression.

La sensibilité de l'hydrophone ne doit pas être influencée par la structure du support. Le transfert des vibrations du câble doit être minimal. Par exemple, l'élément sensible peut être simplement maintenu sur un cadre de fines tiges par des cales de caoutchouc et être couplé au champ acoustique par de l'huile de ricin et une enveloppe en caoutchouc butyle. La structure du support serait alors fixée à un boîtier métallique massif contenant le préamplificateur (voir réf. 11).

Un tel support flexible combiné avec un boîtier de préamplificateur massif isolera l'élément sensible des vibrations du câble. L'effet combiné de la directivité de l'élément sensible et de l'éloignement du point de fixation de la structure de support de l'hydrophone diminuera l'influence de cette structure sur le champ acoustique mesuré.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

For a given value of C_1, the sensitivity M_1 can be varied by variation of C, and reaches a maximum if $C = C_1$ (see reference 13).

This maximum is larger if C_1 is smaller.

Hence, for a given size of element and a given cable capacitance, the electrode configuration shall be chosen such that the element capacitance is equal to the cable capacitance, while for a high sensitivity the cable capacitance should be low.

Therefore, hydrophones to be used at high ultrasonic frequencies require a preamplifier close to the sensor element.

A1.4.3 *Amplifier input resistance*

The input resistance R of the preamplifier should be sufficiently large that the cut-off frequency

$$f = \frac{1}{2 \pi R (C + C_1)}$$

is not higher than the lower limit of the useful frequency range.

Further, it can be shown that the higher this resistor R, the lower the thermal noise caused by this resistor at the input of the amplifier. An input resistance of a built-in preamplifier of the order of 100 MΩ is quite normal.

A1.4.4 *Equivalent noise pressure threshold level*

The equivalent noise pressure threshold level of a hydrophone is determined by the electronic noise level at the input of the preamplifier and by the sensitivity of the sensor element. Restrictions in this sensitivity and the capacitance of the sensor as a result of high-frequency requirements put a lower limit to the noise pressure threshold level.

Reduction of this threshold is possible either by increasing the size of the sensor, but this reduces the upper frequency limit, or by using more sensitive material, such as one of the piezoelectric ceramics instead of lithium sulphate.

With lead metaniobate, for example, the noise threshold level will be 3 dB lower and with lead zirconate titanate the level will be 8 dB to 15 dB lower, as compared with lithium sulphate.

The design of a noise-measuring hydrophone has been analysed by several authors (see references 5, 6, 7, 8 and 9). Reference 9 summarizes the design requirements by stating the desirable objectives to be a high electro-mechanical coupling coefficient, a low characteristic acoustical impedance and a resonance frequency not much above the high frequency end of the required passband. The acoustical ambient noise in the ocean is given by reference 10.

A1.5 *Mechanical design*

The stability of a hydrophone with age, ambient temperature and operating depth is dependent upon the sensor element and the means of coupling the element to the sound field. The acoustic properties of the coupling medium, for example, some plastics or rubbers, may change with temperature or due to moisture absorption. The presence of gas bubbles or gas-filled materials in gaskets or mechanical isolation will alter the sensitivity of the hydrophone as a function of operating depth.

The directivity may vary as a function of depth, particularly if there exist multiple paths of coupling between the water and the sensor element. In one or more of these paths, the coupling can easily vary with depth if compression-type gaskets are used in the construction. O-ring seals are not so severely affected by pressure.

The sensitivity of the hydrophone should be unaffected by the support structure. The transference of vibrations from the cable should be minimized. For example, the sensor element may be simply suspended on a light metal frame with rubber fittings, and coupled to the sound field through castor oil and a butyl rubber envelope. The suspension structure would be clamped on a heavy metal case that houses the preamplifier (see reference 11).

Such a flexible sensor support and a heavy preamplifier housing will decouple the sensor element from the cable vibrations. A combination of sensor element directivity and remoteness from the point of attachment of the hydrophone support structure will minimize the structure's effect upon the measured sound field.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Dans une telle réalisation, le caoutchouc butyle réduit au minimum la pénétration d'humidité et l'huile de ricin peut elle-même absorber une certaine quantité d'eau, ce qui prolonge la durée de vie de l'hydrophone. Il arrivera cependant un moment où la présence d'eau à la surface de l'élément sensible diminuera sa résistance de fuite et réduira sa sensibilité aux basses fréquences.

A la fréquence de résonance mécanique déterminée par la masse de l'élément sensible et la souplesse de son support, l'élément sensible peut être excité par le gradient de pression du champ acoustique et il apparaît une tension à ses bornes. C'est pourquoi l'hydrophone peut être sensible à un gradient de pression à basse fréquence. Ceci crée en particulier des difficultés d'étalonnage lorsque la distance entre la source sonore et l'hydrophone est réduite, ce qui donne une valeur importante au rapport du gradient de pression à la pression elle-même.

A1.6 *Directivité*

Considérons comme exemple un élément sensible de dimensions $4 \times 4 \times 50$ mm^3 constitué de huit cristaux de sulfate de lithium découplés mécaniquement et connectés électriquement en parallèle. Cet élément présente, au-dessous de la fréquence de résonance, une sensibilité en tension en champ libre d'environ -190 dB (réf. 1 V par µPa) et une capacité de 35 pF. Cet élément est omnidirectionnel en azimut dans la limite de 1 dB à toute fréquence jusqu'à 50 kHz.

A 100 kHz, la directivité verticale est telle que l'angle d'ouverture est égal à 15° entre les deux directions où la sensibilité est inférieure de 3 dB à celle qui correspond à l'axe.

A2 Signes de la détérioration d'un hydrophone

On peut se rendre compte qu'un hydrophone s'est détérioré et qu'il ne peut donc plus être considéré comme étalon. La plupart des signes distinctifs apparaissent pour les basses fréquences et peuvent être décelés par une méthode d'étalonnage en récipient fermé.

Un hydrophone étalon doit comprendre un élément sensible et un préamplificateur incorporé. On réunit alors deux conditions:

1) L'impédance de sortie est constante sur une large bande de fréquences et contient un faible terme résistif ce qui permet d'être sûr que l'on mesure bien une tension en circuit ouvert dans tout l'intervalle de fréquence utile lorsqu'on relie l'élément sensible à un appareil à un dispositif à grande impédance d'entrée ou que l'on utilise la résistance d'étalonnage.
2) Cela empêche d'utiliser l'hydrophone étalon comme émetteur et l'on évite ainsi une détérioration possible par surcharge.

Cette conception doit se traduire par une sensibilité en tension en champ libre qui sera constante dans une large bande de fréquences en dessous de la fréquence de résonance mécanique.

Pour une fréquence basse, l'impédance capacitive sera égale à la résistance de fuite de l'élément en parallèle avec l'impédance d'entrée du préamplificateur. La sensibilité à cette fréquence sera inférieure de 3 dB à la valeur constante de la sensibilité aux fréquences plus hautes, et elle continuera à décroître de 6 dB par octave, lorsque la fréquence diminue.

Si de l'humidité a atteint l'élément sensible, la valeur de fréquence inférieure de coupure va augmenter.

L'huile dans laquelle l'élément sensible est immergé doit être soigneusement dégazée. La présence d'une petite bulle de gaz dans cette huile, résultant d'une erreur de construction, d'une réaction chimique, ou d'une entrée d'air, provoquera une souplesse en volume de l'hydrophone plus grande aux basses fréquences et une résonance parasite. Par exemple, à faible profondeur de fonctionnement une bulle de 5 mm de diamètre résonne aux environs de 1 250 Hz et modifie la sensibilité de 2 à 4 dB à la résonance et de 1 dB en dessous de la résonance. Des bulles plus petites, qui résonnent à des fréquences plus élevées, auront un effet moindre. Une augmentation de pression hydrostatique augmente la fréquence de résonance de la bulle.

L'étalonnage de l'hydrophone dans un récipient fermé pour les basses fréquences peut révéler la présence d'une bulle d'air.

Les autres causes de détérioration sont:

D'abord la présence de soufre libre dans l'huile. Celui-ci peut provenir de l'enveloppe caoutchoutée ou des parties métalliques en contact avec l'huile. Il peut détruire les électrodes argentées déposées sur l'élément sensible.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

In this design, the butyl rubber minimizes water vapour penetration and the castor oil will absorb some water, thus prolonging the life of the hydrophone. In time, the presence of water on the surface of the sensor element will lower its leakage resistance and reduce its sensitivity at low frequencies.

At the frequency of mechanical resonance, caused by the mass of the sensor element and the compliance of its support, the sensor may be excited by the pressure gradient in the sound field and produce a voltage across the sensor. Thus the hydrophone may be sensitive to a pressure gradient at low frequencies. This is a problem particularly in the calibration of the hydrophone where the short distance from the source to the hydrophone increases the ratio of pressure gradient to sound pressure.

A1.6 *Directivity*

As an example, consider a sensor element of $4 \times 4 \times 50$ mm^3, made up of eight mechanically uncoupled lithium sulphate crystals, electrically connected in parallel. This element has a free-field open circuit voltage sensitivity level below resonance of about −190 dB *re* 1 V/μPa and a capacitance of 35 pF. This element is omnidirectional in azimuth within 1 dB at any frequency up to 50 kHz.

The vertical directivity at 100 kHz has a total beamwidth of 15° between the two directions where the response level is 3 dB down from the maximum value.

A2 Indications of hydrophone deterioration

There are generally distinctive signs that a hydrophone has deteriorated and can therefore no longer be relied upon as a standard. Most of these indications appear in the low frequency range and can be detected by means of a closed chamber calibration method.

A standard hydrophone should consist of a sensor element and a built-in preamplifier. This combination serves two purposes:

1) The output impedance is constant over a large frequency range, and has a low resistive value, thus providing assurance that the effective open-circuit voltage is measured throughout the operating frequency band by connecting the sensor element to a device with a high input impedance or by the use of the calibration resistor.

2) It ensures that the standard hydrophone cannot be used as a source, thus avoiding the possibility of damaging the sensor by overloading.

This configuration will have a constant free-field voltage sensitivity over a broad frequency range below the frequency of mechanical resonance.

At a low frequency, the capacitive reactance will equal the electrical leakage resistance across the sensor in combination with the preamplifier input impedance. The sensitivity at this frequency will be 3 dB below the constant sensitivity at higher frequencies and the sensitivity will continue to decrease 6 dB per octave as the frequency is lowered.

If moisture has penetrated to the sensor element, the low cut-off frequency will then increase.

The oil in which the sensor is immersed should be carefully de-aerated during the construction of the hydrophone. The presence of a small gas bubble in the oil due to poor workmanship, chemical action or subsequent leakage of air into the oil will produce a higher volume compliance of the hydrophone at low frequencies and a spurious resonance. For example, at shallow operating depths, a bubble of 5 mm diameter resonates at about 1 250 Hz, and will affect the sensitivity by 2 dB to 4 dB at resonance and about 1 dB below resonance. Smaller bubbles, which resonate at higher frequencies, will produce a lesser effect. An increase in hydrostatic pressure will increase the resonant frequency of the bubble.

Calibration of the hydrophone inside a closed chamber at the lower frequency range may reveal the presence of an air bubble.

Other causes of hydrophone deterioration are:

The presence of free sulphur in the oil, coming from the rubber envelope or from metal parts in contact with the oil, may destroy the silver electrodes on the sensor.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Des collages défectueux peuvent réduire le couplage acoustique; des parties d'éléments fissurés diminuent la capacité. Ces deux défauts abaissent la sensibilité dans la bande de fréquences de sensibilité constante et modifient la forme de la courbe de réponse en fréquences ainsi que celle des diagrammes de directivité.

Des contraintes importantes produites pendant une immersion à grande profondeur peuvent affecter de façon permanente la sensibilité d'un élément en céramiques piézo-électriques.

L'exposition au soleil peut surchauffer l'élément sensible et diminuer ainsi sa sensibilité.

Toutes ces détériorations peuvent être décelées par une vérification périodique de la courbe de réponse en fréquence de l'hydrophone, effectuée dans un appareillage d'étalonnage en récipient fermé.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Poor or deteriorated cement bonds reduce the acoustic coupling; fractured sensor elements reduce the element's capacitance; both failures lower the sensitivity in the constant-sensitivity frequency range and alter the character of the frequency response curve and of the directivity patterns.

High stresses developed during deep submergence may change the sensitivity of a piezoelectric ceramic element permanently.

Exposure to sunlight may overheat the sensor element, and thus lower its sensitivity.

All these deteriorations can be detected by a routine check of the frequency response curve of the hydrophone inside a closed chamber calibration unit.

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS
Not for Resale

--`,,```,,,,````-`-`,,`,,`,`,,`---

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS Not for Resale

ICS 17.140.50

Typeset and printed by the IEC Central Office
GENEVA, SWITZERLAND

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS

Not for Resale