

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Underwater acoustics – Hydrophones – Properties of hydrophones in the frequency range 1 Hz to 500 kHz

Acoustique sous-marine – Hydrophones – Propriétés des hydrophones dans la bande de fréquences de 1 Hz à 500 kHz

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60500:2017



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, 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 either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, 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'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details all new publications released. Available online and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des Normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications IEC

Le contenu technique des publications IEC est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Underwater acoustics – Hydrophones – Properties of hydrophones in the frequency range 1 Hz to 500 kHz

Acoustique sous-marine – Hydrophones – Propriétés des hydrophones dans la bande de fréquences de 1 Hz à 500 kHz

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.140.50

ISBN 978-2-8322-4049-6

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.
Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope	5
2 Normative references	5
3 Terms and definitions	5
4 Symbols	11
5 Hydrophone characteristics	12
5.1 General.....	12
5.2 Basic requirements	12
5.3 Sensitivity	12
5.4 Frequency response	13
5.4.1 Stated operating frequency band	13
5.4.2 Frequency dependence	13
5.5 Directional response	13
5.6 Dynamic range.....	13
5.6.1 Linearity and overload sound pressure level	13
5.6.2 Equivalent noise pressure spectral density level.....	14
5.6.3 Conditions required	14
5.7 Electrical requirements	14
5.7.1 Electromagnetic interference	14
5.7.2 Electrical characteristics	14
5.8 Mechanical requirements	14
5.9 Environmental aspects.....	15
5.10 Stability of the sensitivity	15
5.10.1 Temperature stability	15
5.10.2 Depth stability.....	15
5.10.3 Time stability	15
6 Information to be supplied by the manufacturer	16
Annex A (informative) Recommendations for selecting hydrophones.....	18
A.1 General.....	18
A.2 Sensitivity.....	18
A.3 Self-noise performance	19
A.4 Frequency response	19
A.5 Directional response	20
A.6 Dynamic range.....	20
A.7 Electrical connection	21
A.8 Stability of the sensitivity	21
A.8.1 Temperature stability	21
A.8.2 Depth stability.....	21
A.8.3 Time stability	21
Bibliography.....	22
Figure 1 – Angular co-ordinate system.....	6

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**UNDERWATER ACOUSTICS – HYDROPHONES – PROPERTIES OF
HYDROPHONES IN THE FREQUENCY RANGE 1 Hz TO 500 kHz**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 60500 has been prepared by IEC technical committee 87: Ultrasonics.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1974. This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition.

- a) The format and scope of IEC 60500 have been changed to be compatible with IEC 62127-3:2007 in accordance with ISO/IEC Directives, and has a good conformity with IEC 60565:2006, making the suite of available standards for underwater sound a more coordinated and coherent system.
- b) The upper limit of the frequency range of hydrophones has been expanded from 100 kHz to 500 kHz.
- c) Technical requirements of hydrophone selecting are provided in Annex A, and the depth range of the static pressure range of hydrophones has been expanded from 10 m to 100 m.

The text of this International Standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
87/644/FDIS	87/649/RVD

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

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

The committee has decided that the contents of this document will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific document. At this date, the document will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60500:2017

UNDERWATER ACOUSTICS – HYDROPHONES – PROPERTIES OF HYDROPHONES IN THE FREQUENCY RANGE 1 Hz TO 500 kHz

1 Scope

This document specifies the relevant characteristics and properties of hydrophones in the frequency range 1 Hz to 500 kHz, and specifies how to report these characteristics. It does not cover performance requirements for specific hydrophone types, or for specific hydrophone applications. However, guidance on the choice of a hydrophone with appropriate performance for a specific application is given in an informative annex.

This document is applicable to:

- hydrophones employing piezoelectric sensor elements, designed to respond to sound pressure in water and measure underwater acoustical signals;
- hydrophones with or without an integral pre-amplifier.

2 Normative references

The following documents are referred to in the text in such a way that some or all of their content constitutes requirements of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

ISO 266:1997, *Acoustics – Preferred frequencies*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply.

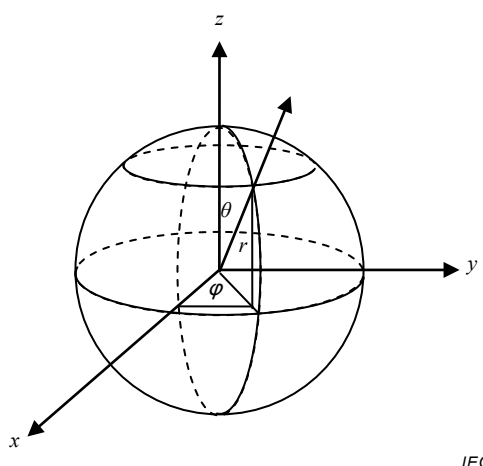
3.1

angular co-ordinate system

system used to designate the directional response pattern of the hydrophone

Note 1 to entry: The terms “horizontal directional response” and “vertical directional response” are often used for representation of directional response in the xy -plane, and xz - (or yz -) planes respectively.

Note 2 to entry: “+ z ” is coincident with an axis of the hydrophone, and “- z ” is in the direction of the hydrophone cable.



IEC

Key

- r radial distance
- θ polar angle
- φ azimuthal angle

Figure 1 – Angular co-ordinate system

3.2

end-of-cable capacitance

C_H

<of a hydrophone> electrical capacitance measured at the end of the integral cable of a hydrophone at a frequency well below any pronounced resonance

Note 1 to entry: End-of-cable capacitance is expressed in farad, F.

Note 2 to entry: The frequency is stated along with the value of end-of-cable capacitance. The end-of cable capacitance is typically measured at a frequency of 1 kHz.

3.3

diffraction factor

ratio of the root-mean-square sound pressure averaged over the part of the hydrophone designed to receive an incident plane wave sound pressure from a given direction to the free-field root-mean-square sound pressure that would exist at the reference centre of the hydrophone if the hydrophone was removed

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1] 1, 3.4, modified – Replace “averaged pressure” with “root-mean-square sound pressure averaged”, “receive sound” with “receive an incident plane wave sound pressure from a given direction”, “free-field sound pressure” with “free-field root-mean-square sound pressure”, and add “if the hydrophone was removed”.]

3.4

directional response

<of a hydrophone> description, generally presented graphically, of the response of a hydrophone, as a function of the direction of propagation of the incident plane sound wave, in a specified plane through the reference centre, at a specified frequency

Note 1 to entry: The directional response pattern is usually presented in the form of a two dimensional polar graph. The scale of the polar may be in terms of sensitivity level or as relative values normalized to the sensitivity in a specified direction (often the direction of the principal axis). The relative values are sometimes presented in decibels as a relative directional response level. See Figure 1 for description of angular co-ordinate system.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

[SOURCE: IEC 62127-3:2007 [2], 3.1, modified – Add the specific context "<of a hydrophone>" and Note 1 to entry.]

3.5

dynamic range

twenty times the logarithm to the base 10 of the ratio of the overload sound pressure in a specified frequency band that produces an undistorted hydrophone output to the equivalent bandwidth noise pressure at the hydrophone

Note 1 to entry: Dynamic range is expressed in decibel, dB.

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.6, modified – Replace "ratio" with "twenty times the logarithm to the base 10 of the ratio", "maximum free-field sound pressure" with "overload sound pressure in a specified frequency band", and "equivalent noise pressure" with "equivalent bandwidth noise pressure".]

3.6

electrical impedance

Z

<of a hydrophone> complex valued quantity, the modulus of which is the ratio of the root-mean-square voltage applied across the electrical terminals of a hydrophone to the resulting root-mean-square current, and the argument of which is the phase difference between voltage and current, at a specified frequency

Note 1 to entry: Electrical impedance of a hydrophone is expressed in ohm, Ω .

Note 2 to entry: Because the electrical impedance depends on the hydrostatic pressure, water temperature and the length of the cable attached to the hydrophone, these parameters, as well as the frequency and the electrical terminals where the electrical impedance is measured, should be specified.

3.7

electrical terminals

<of a hydrophone> terminals across which the open-circuit voltage of a hydrophone is measured

3.8

end-of-cable

specification that relates to the end of the integral cable of a hydrophone with or without an integral pre-amplifier

Note 1 to entry: If the hydrophone is not provided with an integral cable, the specification relates to the output connector firmly connected with the hydrophone, not any additional extension cable.

[SOURCE: IEC 62127-3:2007 [2], 3.4, modified – Replace "integral output cable if the hydrophone or hydrophone assembly is provided with such a cable; if the hydrophone or hydrophone assembly is not provided with an integral output cable, the specification relates to the output connector firmly connected with the hydrophone or hydrophone assembly, not to an extra cable" with "integral cable of a hydrophone with or without an integral pre-amplifier". Add Note 1 to entry.]

3.9

end-of-cable leakage resistance

R_L

ratio of the root-mean-square voltage across the end-of-cable electrical terminals of a hydrophone to the direct root-mean-square current flowing through these terminals

Note 1 to entry: End-of-cable leakage resistance is expressed in ohm, Ω .

Note 2 to entry: The value of the voltage used during the determination of the end-of-cable leakage resistance should be stated.

[SOURCE: IEC 60866:1987 [3], 3.13, modified – Replace “voltage across the electrical terminals at the end of the hydrophone cable to the direct current” with “root-mean-square voltage across the end-of-cable electrical terminals of a hydrophone to the direct root-mean-square current”.]

3.10 equivalent bandwidth noise pressure

p_W

ratio of the root-mean-square noise voltage in the relevant frequency band present at the electrical terminals of the hydrophone, in the absence of sound pressure or pressure fluctuations at the hydrophone input, to its sensitivity in a specified frequency band

Note 1 to entry: Equivalent bandwidth noise pressure is expressed in pascal, Pa.

3.11 equivalent noise pressure spectral density

p_s

equivalent bandwidth noise pressure when its bandwidth is 1 Hz

Note 1 to entry: Equivalent noise pressure spectral density is expressed in pascal per square root of hertz, $\text{Pa} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$.

3.12 equivalent noise pressure spectral density level

twenty times the logarithm to the base 10 of the ratio of the equivalent noise pressure spectral density of a hydrophone, p_s , to a reference pressure spectral density, p_{s0}

Note 1 to entry: Equivalent noise pressure spectral density level of a hydrophone is expressed in decibel, dB.

Note 2 to entry: The value of reference pressure spectral density, p_{s0} , is $1 \mu\text{Pa} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$.

3.13 free field

sound field in a homogeneous and isotropic medium in which the effects of the boundaries are negligible

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.13]

3.14 free-field open-circuit complex sensitivity

$\underline{M}_f$

complex valued quantity, the modulus of which is the free-field open-circuit sensitivity and the argument of which is the sensitivity phase angle, for specified frequency and specified direction of sound incidence at the position of the reference centre of the hydrophone if the hydrophone was removed from the sound field

3.15 free-field open-circuit sensitivity

M_f

modulus of the free-field open-circuit complex sensitivity, which is equal to the ratio of the open-circuit root-mean-square voltage at the end-of-cable of a hydrophone to the root-mean-square sound pressure for specified frequency and specified direction of plane wave sound incident on the position of the reference centre of the hydrophone in the undisturbed free field if the hydrophone was removed

Note 1 to entry: Free-field open-circuit sensitivity is expressed in volt per pascal, V/Pa.

Note 2 to entry: The term ‘response’ is sometimes used instead of ‘sensitivity’.

3.16**free-field open-circuit sensitivity level**

twenty times the logarithm to the base 10 of the ratio of the free-field open-circuit sensitivity, M_f , to a reference sensitivity, M_{ref}

Note 1 to entry: Free-field open-circuit sensitivity level is expressed in decibel, dB.

Note 2 to entry: The value of reference sensitivity, M_{ref} , is 1 V/μPa.

3.17**hydrophone**

electroacoustic transducer that produces electrical signals in response to water borne pressure signals

Note 1 to entry: A hydrophone is designed to respond principally to underwater sound pressure.

Note 2 to entry: In general, a hydrophone may also produce a signal in response to non-acoustic pressure fluctuations (for example, those existing in a turbulent boundary layer during conditions of high water flow).

Note 3 to entry: Hydrophone types include reference hydrophones and measuring hydrophones. Measuring hydrophones are used in general measurements of sound fields, and reference hydrophones are principally used for calibration purposes (for example in comparison calibrations with measuring hydrophones).

Note 4 to entry: Hydrophones are principally used for listening devices, but in reciprocity calibration, a hydrophone is used as reciprocal transducer, not only acting as a hydrophone, but also as a projector (sound source).

Note 5 to entry: A hydrophone which is integrated with a digital acquisition system is sometimes termed a "digital hydrophone", but the combination is best considered as a measuring system, not a hydrophone alone.

Note 6 to entry: If a hydrophone is connected to a charge amplifier, the sensitivity of the hydrophone is sometimes described in terms of charge sensitivity, which is related to the voltage sensitivity of the hydrophone by its electrical capacitance.

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.16, modified – Replace "transducer" with "electroacoustic transducer", and "water borne acoustic signals" with "water borne pressure signals". Replace the note with Notes 1 to 6 to entry.]

3.18**open-circuit voltage**

U_H

voltage appearing at the electrical terminals of a hydrophone when no current passes through the terminals

Note 1 to entry: Open-circuit voltage at hydrophone is expressed in volt, V.

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.19, modified – Delete "at hydrophone" from the term.]

3.19**overload sound pressure**

p_o

ratio of the maximum root-mean-square sound pressure applied at the hydrophone to cause a distorted voltage output with specified criteria (linearity) to a reference sound pressure at a specified frequency

Note 1 to entry: Overload sound pressure is expressed in pascal, Pa.

Note 2 to entry: The distortion tolerance criteria should be specified.

3.20**overload sound pressure level**

twenty times the logarithm to the base 10 of the ratio of the overload sound pressure, p_o , to a reference sound pressure, p_{o0}

Note 1 to entry: Overload sound pressure level is expressed in decibel, dB.

Note 2 to entry: The value of reference sound pressure, p_{00} , is 1 μPa .

3.21

phase angle

argument of the free-field open-circuit complex sensitivity, which is equal to the phase difference between open-circuit voltage at the end-of-cable of a hydrophone and sound pressure for specified frequency and specified direction of plane-wave sound incident on the position of the reference centre of the hydrophone in the undisturbed free field if the hydrophone was removed

3.22

pre-amplifier

active electronic device, often integrated into a particular hydrophone design, reducing the hydrophone output impedance and amplifying the hydrophone output signal

Note 1 to entry: A pre-amplifier requires an electrical power supply voltage.

Note 2 to entry: The pre-amplifier may have a forward voltage transmission factor of less than one, i.e. it need not necessarily be a voltage amplifier in the strict sense.

Note 3 to entry: If a differential amplifier is used as the pre-amplifier, its gain is usually termed a differential output gain, and this will be a factor of 2 higher than for an equivalent single-ended pre-amplifier (6 dB increase in level). The sensitivity of the hydrophone and pre-amplifier combination is then termed the differential output sensitivity.

[SOURCE: IEC 62127-3:2007 [2], 3.12, modified – Delete "hydrophone" from the term. Replace "connected to, or to be connected to, a particular hydrophone" with "often integrated into a particular hydrophone design," and add "and amplifying the hydrophone output signal". Replace the notes with Notes 1 to 3 to entry.]

3.23

pressure sensitivity

M_p
<of a hydrophone> ratio of the root-mean-square output voltage to the root-mean-square sound pressure averaged over the active element of the hydrophone designed to receive sound, at a specified frequency

Note 1 to entry: Pressure sensitivity of a hydrophone is expressed in volt per pascal, V/Pa.

Note 2 to entry: The term 'response' is sometimes used instead of 'sensitivity'.

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.22, modified – Replace "output voltage" with "root-mean-square output voltage", "actual sound pressure existing over the region of hydrophone" with "root-mean-square sound pressure averaged over the active element of the hydrophone", and add "at a specified frequency". Replace the notes with Notes 1 and 2 to entry.]

3.24

pressure sensitivity level

twenty times the logarithm to the base 10 of the ratio of the pressure sensitivity, M_p , to a reference sensitivity of M_{ref}

Note 1 to entry: Pressure sensitivity level is expressed in decibel, dB.

Note 2 to entry: The value of reference sensitivity M_{ref} is 1V/ μPa .

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.21].

3.25

principal axis

reference direction serving as an origin for the angular co-ordinate system used in describing the directional characteristics of the hydrophone

Note 1 to entry: Generally, the axis of structural symmetry or the direction of maximum response is chosen for the principal axis. See Figure 1 for description of angular co-ordinate system.

Note 2 to entry: The direction of maximum response may vary with the frequency of the sound.

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.23, modified – Replace “transducer” with “hydrophone”.]

3.26

reference centre

point on, within or near a hydrophone about which its geometrical electroacoustic characteristics are defined

Note 1 to entry: The reference centre often corresponds to the geometrical centre of a hydrophone, unless otherwise stated.

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.25, modified – Replace “point on or near a transducer” with “point on, within or near a hydrophone”, and “acoustic receiving sensitivity and transmitting responses” with “geometrical electroacoustic characteristics”. Replace note with Note 1 to entry.]

3.27

sound pressure

p

difference between total pressure and pressure that would exist in the absence of sound

Note 1 to entry: Sound pressure is expressed in pascal, Pa.

Note 2 to entry: This definition follows the convention adopted with ISO for the definition of sound pressure such that it is an instantaneous quantity. Note that in IEC 60050-801-21 [4] (IEV), this term is called “instantaneous sound pressure”. In this document, where the root-mean-square sound pressure is intended, this is explicitly referred to as “root-mean-square sound pressure”.

Note 3 to entry: See also ISO 80000-8:2007 [5], 8.9.2.

[SOURCE: ISO 18405:—²[6], 2.1.2.1]

3.28

uncertainty

<of measurement> parameter, associated with the result of a measurement, that characterizes the dispersion of the values that could reasonably be attributed to the measurand

[SOURCE: ISO/IEC Guide 98-3:2008 [7], 2.2.3]

4 Symbols

C_H end-of-cable capacitance

f frequency

$\underline{M}_f$ free-field open-circuit complex sensitivity

M_f free-field open-circuit sensitivity

M_p pressure sensitivity

p sound pressure

p_o overload sound pressure

² Under preparation. Stage at the time of publication: ISO/DIS 18405:2016.

p_w	equivalent bandwidth noise pressure
p_s	equivalent noise pressure spectral density
R_L	end-of-cable leakage resistance
U_H	open-circuit voltage
Z	electrical impedance

5 Hydrophone characteristics

5.1 General

The hydrophones used in underwater acoustics shall be generally of the piezoelectric type, with or without an integral pre-amplifier. In order to fully characterize the performance of a hydrophone, the information given in 5.2 to 5.10 is required. The recommended information to be supplied by the manufacturer is simply summarized in Clause 6.

5.2 Basic requirements

The following shall be briefly stated:

- the basic physical principle of the transduction process;
- the type of element material, its form and the element size;
- the electrical capacitance of the sensor element;
- the type, configuration and overall size of the hydrophone;
- for a hydrophone with pre-amplifier, a simple circuit diagram, supply power requirements and the connections of the pre-amplifier shall be given;
- the position of the reference centre of the hydrophone element within the overall hydrophone body (important for phase measurement considerations);
- the calibrated directional response of a hydrophone;
- the frequency of the fundamental resonance of the hydrophone sensor element;
- the cable length of the hydrophone;
- the mass with or without cable;
- the serial number and the manufacturer's model number;
- the hydrophone sensitivity, including any frequency dependence over the operating frequency range.

If phase information is required, the sensitivity phase angle (which equals the argument of the complex sensitivity) shall be stated in addition to the sensitivity magnitude (which equals the modulus of the complex sensitivity), as well as the frequency dependence of the phase angle.

5.3 Sensitivity

The sensitivity of a hydrophone shall be expressed in S.I. units of volts per pascal (V/Pa) or any allowed sub-multiple within the S.I. convention. It shall be stated whether the sensitivity value given is understood as the free-field open-circuit sensitivity or the pressure sensitivity.

The uncertainty of the stated sensitivity shall be given.

For a hydrophone with pre-amplifier, the gain of the pre-amplifier with the frequency dependence shall be stated.

The sensitivity level of the hydrophone shall be expressed in decibels, and the reference value of sensitivity shall be given.

The frequency or frequency interval over which the sensitivity is applicable shall be stated. The methods by which the sensitivity and its uncertainty have been obtained shall be described.

A recommended calibration period shall be provided in the instructions for use. This recommendation shall be followed, unless otherwise stated by specific device application standards.

A calibration period of one year will be appropriate in most cases. However, if a hydrophone is used in an application in which the hydrophone is susceptible to damage, the calibration period should be less than one year.

NOTE The value of reference sensitivity in the calculation of the sensitivity level is 1 V/ μ Pa.

5.4 Frequency response

5.4.1 Stated operating frequency band

The operating frequency band claimed for the hydrophone shall be stated by giving the lower frequency limit and the upper frequency limit. The sensitivity of the hydrophone shall be uniform over the stated frequency band, with a tolerance which shall also be stated.

5.4.2 Frequency dependence

The sensitivity or sensitivity level of the hydrophone as a function of frequency shall be stated either graphically or as a list of values and over a frequency range containing at least the frequency band claimed under 5.4.1. If it is given as a list of values or as discrete points in a graph, the frequency interval between adjacent points shall be narrow enough that all important details of the frequency dependence are shown, and the sensitivity level does not vary by more than ± 1 dB between adjacent points.

If the sensitivity response is given as a list of absolute sensitivity values, the sensitivity statement in accordance with 5.3 may be omitted.

NOTE 1 The frequency response may depend on the electrical loading conditions.

NOTE 2 If, in a practical application, the hydrophone is used with subsequent electronic components such as an amplifier, digitizer, etc., the frequency response of the whole system will also be influenced by the frequency response of these additional components [8, 9].

5.5 Directional response

Usually, the directional response of the hydrophone is stated at the four highest preferred frequencies of the specified frequency range claimed under 5.4.1 in accordance with ISO 266. The directional response close to the fundamental resonance shall also be stated if this resonance is inside the claimed operating frequency band. The method used to determine the directional response shall be stated.

Each of the resulting directional responses obtained from the measurements shall be stated.

5.6 Dynamic range

5.6.1 Linearity and overload sound pressure level

The linear range of the hydrophone shall be stated, i.e. the sound pressure range in which the hydrophone behaves in a linear way according to the condition below.

The condition is as follows: If, on a plot of end-of-cable output voltage against sound pressure, a straight line can be drawn through the origin in such a way that over a certain sound pressure range the actual voltage values do not deviate from linear dependence to within specified tolerance criteria, this range is the linear range of the hydrophone. Otherwise, the sound pressure level when the actual voltage value deviates from the straight line by the specified tolerance criteria is termed the overload sound pressure level. This shall be the case for any frequency within the frequency band claimed under 5.4.1.

The tolerance criteria for the linearity should be specified.

5.6.2 Equivalent noise pressure spectral density level

The value of equivalent noise pressure spectral density level of the hydrophone shall be stated.

NOTE 1 Usually, the equivalent noise pressure spectral density level of a hydrophone depends on the electronic noise level across the electrical terminals of the pre-amplifier and the sensitivity of the hydrophone.

NOTE 2 The requirement of equivalent noise pressure spectral density level depends on the environment where the hydrophone is used [10, 11].

5.6.3 Conditions required

The dynamic range of the hydrophone is usually expressed in decibels. The dynamic pressure range in which the hydrophone can be used shall meet at least the following conditions:

- no mechanical or electrical damage to the hydrophone;
- no output saturation – the output signal shall be below the value corresponding to the overload sound pressure level;
- the output signal shall be above the value corresponding to equivalent noise pressure spectral density level.

NOTE “Output saturation” means that a non-zero pressure increment at the hydrophone does not lead to a voltage change.

5.7 Electrical requirements

5.7.1 Electromagnetic interference

Information or advice on how to minimize the effects of electromagnetic interference shall be provided. The design of the structure and the electrical circuit of the hydrophone shall be considered to minimize the effect of electrical cross-talk interference.

5.7.2 Electrical characteristics

For hydrophones with an integral pre-amplifier, exposed metal parts of the hydrophone housing and electrostatic shield shall be connected to the cable screen. For a hydrophone without pre-amplifier, exposed metal parts and electrostatic shield shall not be connected to the cable screen, and the end-of-cable leakage resistance shall be greater than 100 MΩ in the frequency range 1 Hz to 100 kHz; at frequencies higher than 100 kHz, the end-of-cable leakage resistance shall be greater than 100 kΩ.

NOTE Usually, the voltage applied to measure the end-of-cable leakage resistance is 100 V.

5.8 Mechanical requirements

The types of material (which may include metal, rubber, casting resin, polyurethane encapsulating boot) exposed to the liquid in which the hydrophone is allowed to be used shall be stated.

For a hydrophone filled with oil, the type of oil used shall be stated, and its acoustic impedance shall be close to that of water.

All exposed parts of a hydrophone should be made from corrosion-compatible and corrosion-resistant materials, and have characteristics of good wetting and small acoustic scattering. In particular, the use of a variety of different metals for exposed components should be avoided to avert the possible occurrence of galvanic corrosion, and promote long-term stability of characteristics.

Correct suspension of the sensor element should be achieved to militate against induced vibration, and the size should not be too large in relation to the acoustic wavelength.

5.9 Environmental aspects

The temperature of the water may affect the sensitivity of a hydrophone. High stresses developed during deep submergence may change the sensitivity of a piezoelectric ceramic element permanently [12, 13]. This means that a hydrophone will have limitations for its operating temperature and depth [14, 15].

The permitted operating temperature range, storage temperature range and maximum operating depth for the hydrophone shall be stated.

Exposure to sunlight, chemicals, ionizing radiation and mechanical shock may affect the operational characteristics of the hydrophone. Advice or guidance on how to use and store the hydrophones to avoid these deleterious effects shall be given.

5.10 Stability of the sensitivity

5.10.1 Temperature stability

The temperature coefficient of sensitivity and the frequency (or frequency range) for which this coefficient is applicable shall be stated.

The temperature coefficient of sensitivity should be expressed in linear units as $V/Pa/^\circ C$, or as a percentage change with temperature. Alternatively, the coefficient of sensitivity level should be stated (expressed in $dB/^\circ C$). The most appropriate expression of the temperature coefficient is contingent upon whether the sensitivity dependence is linear with temperature, and whether the dependence is significantly large in value.

NOTE The dependence of hydrophone sensitivity on temperature may be dependent on frequency, and may be greater at frequencies close to the hydrophone resonance [14, 15].

5.10.2 Depth stability

The depth coefficient of sensitivity and the frequency (or frequency range) for which this coefficient is applicable shall be stated.

The depth coefficient of sensitivity should be expressed in linear units as $V/Pa/m$, or as a percentage change with depth. Alternatively, the coefficient of sensitivity level should be stated (expressed in dB/m). The most appropriate expression of the depth coefficient is contingent upon whether the sensitivity dependence is linear with depth, and whether the dependence is significantly large in value.

NOTE 1 The dependence of hydrophone sensitivity on depth may be dependent on frequency, and may be greater at frequencies close to the hydrophone resonance [15].

NOTE 2 The dependence of hydrophone sensitivity on hydrostatic pressure is commonly used as a proxy for the dependence on depth of immersion in water. An increase in depth of 10 m in the ocean is equivalent to an increase in hydrostatic pressure of approximately 100,5 kPa.

5.10.3 Time stability

A re-calibration period shall be provided in the instructions for use of the hydrophone. This recommendation is one that shall be followed by the user, unless otherwise stated by specific

device application standards. The re-calibration period is the period over which the stability of the hydrophone shall be considered as reliable assuming no abuse of the hydrophone has taken place.

6 Information to be supplied by the manufacturer

The required information on hydrophone properties that shall be supplied by the manufacturer is summarized in the following list:

- a) Frequency
 - Frequency of fundamental mechanical resonance of the sensor Hz
 - Frequency range of flat frequency response curve within 3 dB limit Hz
- b) Sensitivity
 - The end-of-cable sensitivity (in V/Pa) and/or sensitivity level (dB re. 1 V/ μ Pa) and its frequency response curve in specified frequency range that contains at least the frequency range given in a) dB
- c) Directional response
 - Horizontal and vertical directional response patterns at the four highest preferred frequencies of the specified frequency range in accordance with ISO 266
 - Horizontal and vertical directional response patterns at the frequency closest to the fundamental resonance if this resonance is inside the claimed frequency band
- d) Sensor element
 - Element material
 - Size of sensor element mm
 - Capacitance of sensor element pF
- e) Electrical characteristics
 - Circuit diagram showing the electrical connections between components of hydrophone
 - Type of electrical static shield used
 - End-of-cable capacitance and leakage resistance for hydrophone without pre-amplifier
- f) Mechanical characteristics
 - Type of exposed metal in contact with the immersion liquid
 - Type of exposed elastomer in contact with the immersion liquid
 - Type of oil if hydrophones are filled with oil
 - Position of sensor element
 - Position of reference centre
 - Orientation of reference direction
 - Cable length m
 - Size without cable mm
 - Mass with or without cable kg
- g) Environmental factors
 - Operating temperature range °C
 - Storage temperature range °C
 - Maximum operating depth m
- h) Stability of the sensitivity

- Temperature coefficient in the specified temperature range dB/°C or V/Pa/°C
 - Depth coefficient in the specified depth range dB/m or V/Pa/m
 - Re-calibration period representing the time stability of hydrophone month
- i) Additional items for hydrophone with pre-amplifier
- Equivalent noise pressure spectral density level (dB re. 1 $\mu\text{Pa}\cdot\text{Hz}^{-1/2}$) dB
 - Overload sound pressure level (dB re. 1 μPa) dB
 - Dynamic range dB
 - Gain of pre-amplifier and its frequency response dB
 - Input and output impedance of pre-amplifier Ω
 - Power requirements for hydrophone with pre-amplifier W
 - Power supply voltage to pre-amplifier V

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60500:2017

Annex A (informative)

Recommendations for selecting hydrophones

A.1 General

Hydrophones can be divided into categories according to the purpose for which they are used. Two common categories are reference hydrophones and measuring hydrophones. Usually, a reference hydrophone is calibrated by the absolute primary standard method for sound pressure, which is the primary realization of the acoustic pascal. A measuring hydrophone is typically calibrated against the reference hydrophone using comparison methods. These calibrated hydrophones are the main dissemination method for sound pressure in water [16].

The hydrophones used in underwater acoustics are generally of the piezoelectric type with or without an integral pre-amplifier. The sensor element will typically consist of a piezoelectric ceramic element, which is spherical, cylindrical, or in the form of a piezoelectric stack. Usually, the hydrophone element is constructed from one or more of the common piezoelectric ceramics, for example lead zirconate-titanate, lead metaniobate, or lithium sulphate.

There are a number of factors to be considered when selecting a hydrophone for use, including the maximum operating frequency range, the stability with age, minimum equivalent noise pressure level, the dynamic range and the sensitivity change with water temperature and operating depth. A wide operating frequency range is difficult to combine with a high sensitivity.

If phase information is required, the phase sensitivity should be stated in addition to the magnitude sensitivity. The frequency dependence of the phase angle may then be required in addition to the frequency dependence of the magnitude sensitivity [17, 18].

NOTE 1 The sensitivity of lithium sulphate will change less than 1 % in the depth range 0 to 1 600 m and in the temperature range 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 and temperature.

NOTE 2 Ageing or prolonged stress will not affect the sensitivity of lithium sulphate but may affect other piezoelectric ceramics.

A.2 Sensitivity

The sensitivity of a hydrophone should be chosen to be an appropriate value to avoid poor signal-to-noise ratio for low amplitude signals, and avoid nonlinearity and clipping for high amplitude signals.

For a reference hydrophone, the sensitivity level in the frequency range 1 Hz to 100 kHz should not be lower than –215 dB re. 1 V/μPa. At frequencies higher than 100 kHz, the sensitivity level should not be lower than –235 dB re. 1 V/μPa.

For a measuring hydrophone, the sensitivity level in the frequency range 1 Hz to 100 kHz should not be lower than –220 dB re. 1 V/μPa. At frequencies higher than 100 kHz, the sensitivity level should not be lower than –240 dB re. 1 V/μPa.

A.3 Self-noise performance

In order to measure low amplitude sound pressure signals, a hydrophone should be chosen with a low self-noise such that the equivalent noise pressure spectral density level is minimized in the frequency range of interest.

The equivalent noise pressure spectral density level of a hydrophone is determined from the electronic noise level across the electrical terminals of the pre-amplifier and the sensitivity of the hydrophone. Reduction of the equivalent noise pressure spectral density level is possible either by increasing the sensitivity of the sensor element, or by decreasing the electronic noise of the pre-amplifier.

For a good quality hydrophone, it should be possible for the equivalent noise pressure spectral density level to approach the Knudsen sea-state zero levels, which are approximately 60 dB re. $1 \mu\text{Pa Hz}^{-1/2}$ at 100 Hz, 45 dB re. $1 \mu\text{Pa}^2 \text{ Hz}^{-1/2}$ at 1 kHz, and 29 dB re. $1 \mu\text{Pa Hz}^{-1/2}$ at 10 kHz [10, 11].

For a hydrophone designed to measure very low sound pressures, a maximum equivalent noise pressure spectral density level of no more than 10 dB less than the above values is recommended.

A.4 Frequency response

The frequency response of the hydrophone should extend over a sufficient frequency range to faithfully record all frequency components of interest within the measured signals. This requires that the hydrophone, and any pre-amplifier, be sufficiently broadband.

The frequency response curve of a hydrophone typically has a uniform frequency-invariant component, 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 fluctuate because of diffraction effects around the hydrophone body, and also as a result of mechanical resonances of the sensor element. Approximately one octave below this resonance frequency, the frequency response curve starts to rise.

For a reference hydrophone, over a frequency range of at least 3 decades within the frequency range 1 Hz to 100 kHz, the sensitivity level should be constant within $\pm 1,5$ dB. At frequencies higher than 100 kHz, the sensitivity level should be uniform within $\pm 2,0$ dB [19, 20].

For a measuring hydrophone, over a frequency range of at least 3 decades within the frequency range 1 Hz to 100 kHz, the sensitivity level should be constant within $\pm 2,0$ dB. At frequencies higher than 100 kHz, the sensitivity level should be uniform within $\pm 4,0$ dB [19, 20].

NOTE 1 The frequency response might depend on the electrical loading conditions.

NOTE 2 If, in a practical application, the hydrophone is used with subsequent electronic components such as an amplifier, oscilloscope, etc., the frequency response of the whole system will also be, of course, influenced by the frequency response of these additional components.

NOTE 3 The frequency response of a hydrophone can be influenced by the manner in which it is mounted. This is particularly true if the hydrophone is mounted close to a body or surface which substantially reflects or scatters the sound waves, causing interference with the directly incident sound field.

A.5 Directional response

For a reference hydrophone in the frequency range 1 Hz to 100 kHz, the –3 dB beam width of the horizontal directional response at the highest frequency within the operational range should be greater than 30°, and the change of sensitivity level should be less than $\pm 0,2$ dB in the angular range within $\pm 5^\circ$ of the principal axis; the –3 dB beam width of the vertical directional response at the highest frequency should be greater than 15°, and the change of sensitivity level should be less than $\pm 0,2$ dB in the angular range within $\pm 2^\circ$ of the principal axis. At frequencies higher than 100 kHz, the –6 dB beam width of effective azimuth angle (angle in xy co-ordinate plane, see Figure 1) at the highest frequency should be greater than 15°, and the asymmetry of beam in the effective azimuth angle should be less than $\pm 3,0$ dB. The deviation of maximum sensitivity level from the principal axis should be less than 3° [19, 20].

For a measuring hydrophone, the horizontal directional response should be omni-directional in the frequency range being used, the deviation from an ideal omni-directional pattern should be less than $\pm 2,0$ dB, and the –3 dB beam width of the vertical directional response at the highest frequency should be greater than 30°. At frequencies higher than 100 kHz, the –6 dB beam width of the effective azimuth angle at the highest frequency should be greater than 15°, and the asymmetry of beam in the effective azimuth angle should be less than $\pm 3,0$ dB. The deviation of maximum sensitivity level from the principal axis should be less than 3° [19, 20].

NOTE The directional response of a hydrophone can be influenced by the manner in which it is mounted. This is particularly true if the hydrophone is mounted close to a body or surface which substantially reflects or scatters the sound waves, causing interference with the directly incident sound field.

A.6 Dynamic range

The dynamic range of the hydrophone is the amplitude range over which it can faithfully measure the sound pressure. This ranges from the noise floor of the hydrophone (which defines the lowest measurable signal) to the highest amplitude of signal that may be measured without significant distortion. The hydrophone should be linear over the full dynamic range, which means that the sensitivity is constant over the full range of measurable sound pressure.

The dynamic range is an important performance consideration when measuring high amplitude sound. Sound pressures that are well beyond the maximum measurement capability of the hydrophone will cause clear and obvious distortions in the measured data. For hydrophones with an integral pre-amplifier, clipping may occur where the peaks of the signal are missing from the data. For a hydrophone without a pre-amplifier, the effects of distortion may be more subtle in nature, but may be evident from the presence of additional harmonics in narrowband signals.

Hydrophones with integral pre-amplifiers typically provide no control of pre-amplifier gain and may exhibit saturation or clipping if the sensitivity is too high for the acoustic signal amplitudes being measured. For this reason, a hydrophone without a pre-amplifier is a better choice for measurement of very high sound pressure levels.

For a reference hydrophone in the frequency range 1 Hz to 100 kHz, the dynamic range of the hydrophone should be at least 60 dB, and the open-circuit voltage should be linear with a sound pressure with a deviation of less than $\pm 0,5$ dB. At frequencies higher than 100 kHz, the dynamic range should be at least 40 dB, and the deviation should be less than $\pm 1,0$ dB [19, 20].

For a measuring hydrophone in the frequency range 1 Hz to 100 kHz, the dynamic range of the hydrophone should be at least 60 dB, the open-circuit voltage should be linear with a sound pressure with a deviation of less than $\pm 1,0$ dB. At frequencies higher than 100 kHz, the dynamic range should be at least 40 dB, and the deviation should be less than $\pm 1,0$ dB [19, 20].

A.7 Electrical connection

When measuring, the hydrophone should be connected to a high electrical input impedance measuring instrument, the electrical input impedance of which is much larger than the electrical impedance of the hydrophone (ideally, more than 100 times larger in magnitude). When measuring the phase angle of the hydrophone output voltage, the electrical input impedance of the measuring instrument should be more than 1 000 times the electrical impedance of the hydrophone. If not, electrical loading corrections should be applied to the measured voltage to obtain the open-circuit voltage.

If an extension cable is attached to the hydrophone, this cable will electrically load the hydrophone and corrections should be applied to obtain the end-of-cable open-circuit voltage.

If the same electrical load is used throughout the calibration for a particular hydrophone, the corrections should be applied to the sensitivity rather than to the individual measured voltages.

A.8 Stability of the sensitivity

A.8.1 Temperature stability

For a reference hydrophone in the frequency range 1 Hz to 100 kHz, the change of sensitivity level with temperature should be less than $\pm 0,04$ dB per 1°C from the value at $+17^\circ\text{C}$ in the temperature range $+0^\circ\text{C}$ to $+40^\circ\text{C}$. At frequencies higher than 100 kHz, the deviation of the sensitivity level should be less than $\pm 1,0$ dB from the value at $+17^\circ\text{C}$ in the temperature range $+16^\circ\text{C}$ to $+30^\circ\text{C}$, and less than $\pm 2,0$ dB in the temperature range $+30^\circ\text{C}$ to $+40^\circ\text{C}$.

For a measuring hydrophone in the frequency range 1 Hz to 100 kHz, the changing of sensitivity level should be less than $\pm 0,05$ dB per 1°C from the value at $+17^\circ\text{C}$ in the temperature range $+0^\circ\text{C}$ to $+40^\circ\text{C}$. At frequencies higher than 100 kHz, the deviation of sensitivity level should be less than $\pm 1,5$ dB from the value at $+17^\circ\text{C}$ in the temperature range $+16^\circ\text{C}$ to $+30^\circ\text{C}$, and less than $\pm 3,0$ dB in the temperature range $+30^\circ\text{C}$ to $+40^\circ\text{C}$.

A.8.2 Depth stability

For a reference hydrophone in the frequency range 1 Hz to 100 kHz, the change in sensitivity level should be less than $0,3$ dB in the depth range 0 to 100 m. At the frequencies higher than 100 kHz, the change in sensitivity level should be less than $\pm 1,0$ dB in the depth range 0 to 100 m.

For a measuring hydrophone in the frequency range 1 Hz to 100 kHz, the change in sensitivity level should be less than $0,4$ dB in the depth range 0 to 100 m. At frequencies higher than 100 kHz, the change in sensitivity level should be less than $\pm 2,0$ dB in the depth range 0 to 100 m.

A.8.3 Time stability

For reference hydrophones in the frequency range 1 Hz to 100 kHz, the change in sensitivity level of the hydrophone should be less than $\pm 0,7$ dB in a recalibration period of one year. At frequencies higher than 100 kHz, the change of sensitivity level should be less than $\pm 2,0$ dB.

For measuring hydrophones in the frequency range 1 Hz to 100 kHz, the change in sensitivity level of the hydrophone should be less than $\pm 1,5$ dB in a recalibration period of one year. At frequencies higher than 100 kHz, the change of sensitivity level should be less than $\pm 3,0$ dB.

Bibliography

- [1] IEC 60565:2006, *Underwater acoustics – Hydrophones – Calibration in the frequency range 0,01 Hz to 1 MHz*
- [2] IEC 62127-3:2007, *Ultrasonics – Hydrophones – Part 3: Properties of hydrophones for ultrasonic fields up to 40 MHz*
IEC 62127-3:2007/AMD1:2013
- [3] IEC 60866:1987, *Characteristics and calibration of hydrophones for operation in the frequency range 0,5 MHz to 15 MHz*
- [4] IEC 60050-801:1994, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 801: Acoustics and electroacoustics* (available at: <http://www.electropedia.org>)
- [5] ISO 80000-8:2007, *Quantities and units – Part 8: Acoustics*
- [6] ISO 18405:—³, *Underwater acoustics – Terminology*
- [7] ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement* (GUM:1995)
- [8] ENYAKOV A M, ISAEV L K AND FESHCHENKO L P. Optimizing parameters of a transducer-amplifier system for minimum self-noise, *Measurement Techniques*, 1980, vol. 23, no. 8, p.164-166
- [9] ANSI S1.20:2012, *Procedures for calibration of underwater electroacoustic transducers*, American National Standards Institute, New York, USA
- [10] KNUDSEN V O, ALFORD R S AND EMLING J W. Underwater ambient noise. *Journal of Marine Research*, 1948, vol. 7, p. 410-429
- [11] WENZ G M. Acoustic ambient noise in the ocean: spectra and sources. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1962, vol. 34, p. 1936-1956
- [12] BERLIN COURT D, JAFFE B H, KRUEGER H H A. Transducer properties of lead titanate zirconate ceramics. *IREE Transactions UE -7*, 1960, p. 1
- [13] KRUEGER H H A, BERLIN COURT D. Effects of high static stress on the piezoelectric properties of transducer materials. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1961, vol. 33, p. 1339
- [14] VAN BUREN A L, DRAKE R M, PAOLERO A E. Temperature dependence of the sensitivity of hydrophone standards used in international comparisons. *Metrologia*, 1999, vol. 36, p. 281-295
- [15] BEAMISS G A, ROBINSON S P, HAYMAN G AND ESWARD T J. Determination of the variation in free-field hydrophone response with temperature and depth. *Acta Acustica United with Acoustica*, 2002, vol. 88, p. 799

³ Under preparation. Stage at the time of publication: ISO/DIS 18405:2016.

- [16] ROBINSON S P, HARRIS P M, ABLITT J, HAYMAN G, THOMPSON A, VAN BUREN A L, ZALESK J F, DRAKE R M, ISAEV A E, ENYAKOV A M, PURCELL C, ZHU H, WANG Y, ZHANG Y, BOTHA P, KRÜGER D. An international key comparison of free-field hydrophone calibrations in the frequency range 1 to 500 kHz, *J. Acoust. Soc. Am.*, 2006, vol. 120(3), p. 1366-1373
 - [17] LUKER L D, VAN BUREN A L. Phase calibration of hydrophones. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1981, vol. 70, p. 516-519
 - [18] HAYMAN G, WANG Y, ROBINSON S P. A comparison of two methods for phase response calibration of hydrophones in the frequency range 10–400 kHz. *J. Acoust. Soc. Am.*, 2013, vol. 133(2), p. 750-759
 - [19] GB/T 4128:1995, *Acoustics – Standard hydrophone* (in Chinese)
 - [20] GOST 27993-88, *Measuring Hydrophone, General technical requirements and methods for testing* (in Russian)
-

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60500:2017

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	25
1 Domaine d'application	27
2 Références normatives	27
3 Termes et définitions	27
4 Symboles	33
5 Caractéristiques d'un hydrophone	34
5.1 Généralités	34
5.2 Exigences de base	34
5.3 Sensibilité	34
5.4 Réponse en fréquence	35
5.4.1 Bande de fréquences de fonctionnement déclarée	35
5.4.2 Dépendance en fréquence	35
5.5 Réponse directionnelle	35
5.6 Dynamique	36
5.6.1 Linéarité et niveau de pression acoustique de surcharge	36
5.6.2 Niveau de densité spectrale de la pression de bruit équivalente	36
5.6.3 Conditions exigées	36
5.7 Exigences électriques	36
5.7.1 Interférences électromagnétiques	36
5.7.2 Caractéristiques électriques	37
5.8 Exigences mécaniques	37
5.9 Aspects environnementaux	37
5.10 Stabilité de la sensibilité	37
5.10.1 Stabilité en température	37
5.10.2 Stabilité en profondeur	38
5.10.3 Stabilité temporelle	38
6 Informations à fournir par le fabricant	38
Annexe A (informative) Recommandations relatives à la sélection des hydrophones	40
A.1 Généralités	40
A.2 Sensibilité	40
A.3 Performances de bruit propre	41
A.4 Réponse en fréquence	41
A.5 Réponse directionnelle	42
A.6 Dynamique	42
A.7 Connexion électrique	43
A.8 Stabilité de la sensibilité	43
A.8.1 Stabilité en température	43
A.8.2 Stabilité de la profondeur	43
A.8.3 Stabilité temporelle	44
Bibliographie	45
Figure 1 – Système de coordonnées angulaires	28

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

**ACOUSTIQUE SOUS-MARINE – HYDROPHONES – PROPRIÉTÉS DES
HYDROPHONES DANS LA BANDE DE FRÉQUENCES DE 1 Hz À 500 kHz****AVANT-PROPOS**

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, l'IEC – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de l'IEC"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications: l'IEC ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de l'IEC. L'IEC n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à l'IEC, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers, et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de l'IEC, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale IEC 60500 a été établie par le comité d'études 87 de l'IEC: Ultrasons.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1974. Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente.

- a) Le format et le domaine d'application de l'IEC 60500 ont été modifiés de manière à les rendre compatibles avec l'IEC 62127-3:2007 conformément aux Directives ISO/IEC, et présentent une bonne conformité avec l'IEC 60565:2006, permettant ainsi à la série de normes disponibles relatives à l'acoustique sous-marine de constituer un système mieux coordonné et plus cohérent.
- b) La limite supérieure de la bande de fréquences des hydrophones a été étendue, passant de 100 kHz à 500 kHz.

- c) Des exigences techniques relatives à la sélection des hydrophones sont fournies à l'Annexe A, et la gamme de profondeurs de la plage de pression statique des hydrophones a été étendue, passant de 10 m à 100 m.

Le texte de cette Norme internationale est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
87/644/FDIS	87/649/RVD

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

Ce document a été rédigé selon les Directives ISO/IEC, Partie 2.

Le comité a décidé que le contenu de ce document ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives au document recherché. A cette date, le document sera

- reconduit,
- supprimé,
- remplacé par une édition révisée, ou
- amendé.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 60500:2017

ACOUSTIQUE SOUS-MARINE – HYDROPHONES – PROPRIÉTÉS DES HYDROPHONES DANS LA BANDE DE FRÉQUENCES DE 1 Hz À 500 kHz

1 Domaine d'application

Le présent document spécifie les caractéristiques et les propriétés pertinentes des hydrophones dans la bande de fréquences de 1 Hz à 500 kHz, ainsi que la manière de déclarer ces caractéristiques. Elle ne couvre pas les exigences de performance pour les types spécifiques d'hydrophones, ni pour leurs applications spécifiques. Cependant, des lignes directrices relatives au choix d'un hydrophone présentant des performances appropriées pour une application spécifique sont données dans une annexe informative.

Le présent document est applicable aux:

- hydrophones employant des éléments sensibles piézoélectriques conçus pour répondre à la pression acoustique dans l'eau et mesurer les signaux acoustiques sous-marins;
- hydrophones avec ou sans préamplificateur intégré.

2 Références normatives

Les documents suivants cités dans le texte constituent, pour tout ou partie de leur contenu, des exigences du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

ISO 266:1997, *Acoustique – Fréquences normales*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent.

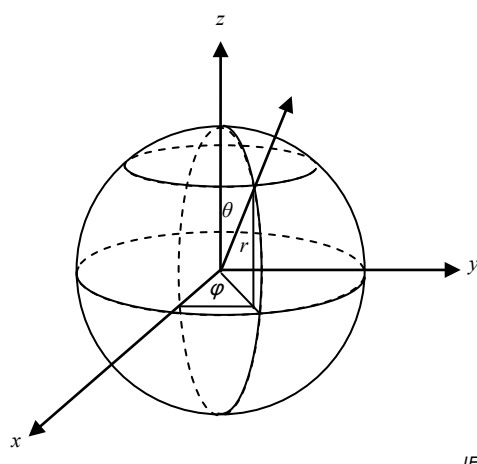
3.1

système de coordonnées angulaires

système utilisé pour désigner le modèle de réponse directionnelle de l'hydrophone

Note 1 à l'article: Les termes "réponse directionnelle horizontale" et "réponse directionnelle verticale" sont souvent utilisés pour la représentation de la réponse directionnelle dans les plans xy , et xz (ou yz) respectivement.

Note 2 à l'article: "+z" est coïncident avec un axe de l'hydrophone, et "-z" est dirigé dans le sens du câble de l'hydrophone.



IEC

Légende

r distance radiale

θ angle polaire

φ angle azimutal

Figure 1 – Système de coordonnées angulaires

3.2

capacité en bout de câble

C_H

<d'un hydrophone> capacité électrique mesurée à l'extrémité du câble intégré d'un hydrophone à une fréquence largement inférieure à toute résonance prononcée

Note 1 à l'article: La capacité en bout de câble est exprimée en farads, F.

Note 2 à l'article: La fréquence est indiquée en même temps que la valeur de la capacité en bout de câble. La capacité en bout de câble est généralement mesurée à une fréquence de 1 kHz.

3.3

facteur de diffraction

rapport de la pression acoustique efficace établie en moyenne sur la partie de l'hydrophone conçue pour recevoir une onde plane incidente provenant d'une direction donnée, à la pression acoustique efficace en champ libre qui existerait au niveau du centre de référence de l'hydrophone si ce dernier était retiré

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1]¹, 3.4, modifiée – Remplacer “pression moyenne” par “pression acoustique efficace établie en moyenne”, “destinée à recevoir le son” par “conçue pour recevoir une onde plane incidente provenant d'une direction donnée”, “pression acoustique en champ libre” par “pression acoustique efficace en champ libre”, et ajouter “si ce dernier était retiré”.]

3.4

réponse directionnelle

<d'un hydrophone> description, généralement présentée sous forme de graphique, de la réponse d'un hydrophone en fonction de la direction de propagation de l'onde acoustique plane incidente, dans un plan spécifié passant par le centre de référence, à une fréquence donnée

Note 1 à l'article: Le diagramme de réponse directionnelle est généralement présenté sous forme de graphique polaire à deux dimensions. L'échelle du diagramme polaire peut être graduée en niveaux de sensibilité ou en

¹ Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

valeurs relatives normalisées par rapport à la sensibilité dans une direction spécifiée (souvent la direction de l'axe principal). Ces valeurs relatives sont parfois présentées en décibels comme un niveau de réponse directionnelle relatif. Voir la Figure 1 qui fournit la description d'un système de coordonnées angulaires.

[SOURCE: IEC 62127-3:2007 [2], 3.1, modifiée – Ajouter le contexte spécifique <d'un hydrophone> et la Note 1 à l'article.]

3.5

dynamique

vingt fois le logarithme de base 10 du rapport de la pression acoustique de surcharge dans une bande de fréquences spécifiée qui crée à la sortie de l'hydrophone un signal sans distorsion, à la pression de bruit de largeur de bande équivalente au niveau de l'hydrophone

Note 1 à l'article: La dynamique est exprimée en décibels, dB.

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.6, modifiée – Remplacer “rapport” par “vingt fois le logarithme de base 10 du rapport”, “pression acoustique maximale en champ libre” par “pression acoustique de surcharge dans une bande de fréquences spécifiée” et “pression de bruit équivalente” par “pression de bruit de largeur de bande équivalente”.]

3.6

impédance électrique

Z

<d'un hydrophone> grandeur à valeur complexe, dont le module est le rapport de la tension efficace appliquée aux bornes électriques d'un hydrophone et du courant efficace résultant, et dont l'argument est la différence de phase entre la tension et le courant, à une fréquence spécifiée

Note 1 à l'article: L'impédance électrique d'un hydrophone est exprimée en ohms, Ω .

Note 2 à l'article: Etant donné que l'impédance électrique dépend de la pression hydrostatique, de la température de l'eau et de la longueur du câble de liaison de l'hydrophone, il convient de spécifier ces paramètres, ainsi que la fréquence et les repères des bornes électriques de mesure de l'impédance électrique.

3.7

bornes électriques

<d'un hydrophone> bornes au niveau desquelles la tension en circuit ouvert d'un hydrophone est mesurée

3.8

bout de câble

spécification relative à l'extrémité du câble intégré d'un hydrophone avec ou sans préamplificateur intégré

Note 1 à l'article: Si l'hydrophone n'est pas muni d'un câble intégré, la spécification s'applique au connecteur de sortie fermement connecté à l'hydrophone, et à aucun câble d'extension supplémentaire.

[SOURCE: IEC 62127-3:2007 [2], 3.4, modifiée – Remplacer “câble de sortie intégré si l'hydrophone ou l'ensemble d'hydrophones est fourni avec ce type de câble. Si ce n'est pas le cas, la spécification porte sur le connecteur de sortie fermement connecté à l'hydrophone ou à l'ensemble d'hydrophones et non à un câble supplémentaire” par “câble intégré d'un hydrophone avec ou sans préamplificateur intégré”. Note 1 à l'article a été ajoutée.]

3.9

résistance aux fuites en bout de câble

R_L

rapport de la tension efficace aux bornes électriques en bout de câble d'un hydrophone et du courant efficace continu circulant à ces bornes

Note 1 à l'article: La résistance aux fuites en bout de câble est exprimée en ohms, Ω .

Note 2 à l'article: Il convient de spécifier la valeur de la tension utilisée pour la détermination de la résistance aux fuites en bout de câble.

[SOURCE: IEC 60866:1987 [3], 3.13, modifiée – Remplacer “tension aux bornes électriques situées à l'extrémité du câble de l'hydrophone, au courant continu traversant ces bornes” par “tension efficace aux bornes électriques en bout de câble d'un hydrophone et du courant efficace continu circulant à ces bornes”.]

3.10

pression de bruit de largeur de bande équivalente

p_W

rapport de la tension de bruit efficace dans la bande de fréquences concernée aux bornes électriques de l'hydrophone, en l'absence de pression acoustique ou de fluctuations de pression à l'entrée de l'hydrophone, et de sa sensibilité dans une bande de fréquences spécifiée

Note 1 à l'article: La pression de bruit de largeur de bande équivalente est exprimée en pascals, Pa.

3.11

densité spectrale de la pression de bruit équivalente

p_s

pression de bruit de largeur de bande équivalente lorsque sa largeur de bande est de 1 Hz

Note 1 à l'article: La densité spectrale de la pression de bruit équivalente est exprimée en pascals par racine carrée de hertz, $\text{Pa} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$.

3.12

niveau de densité spectrale de la pression de bruit équivalente

vingt fois le logarithme de base 10 du rapport de la densité spectrale de la pression de bruit équivalente d'un hydrophone, p_s , à une densité spectrale de pression de référence, p_{s0}

Note 1 à l'article: Le niveau de densité spectrale de la pression de bruit équivalente d'un hydrophone est exprimé en décibels, dB.

Note 2 à l'article: La valeur de la densité spectrale de pression de référence, p_{s0} , est $1 \mu\text{Pa} \cdot \text{Hz}^{-1/2}$.

3.13

champ libre

champ acoustique se développant dans un milieu homogène et isotrope dans lequel les effets des limites sont négligeables

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.13]

3.14

sensibilité complexe en champ libre et en circuit ouvert

$\underline{M}_f$

grandeur à valeur complexe, dont le module est la sensibilité en champ libre et en circuit ouvert et l'argument est l'angle de phase de la sensibilité, pour une fréquence donnée et une direction spécifiée de l'incidence acoustique à l'emplacement du centre de référence de l'hydrophone si l'hydrophone a été retiré du champ acoustique

3.15

sensibilité en champ libre et en circuit ouvert

M_f

module de la sensibilité complexe en champ libre et en circuit ouvert, qui est égal au rapport de la tension efficace en circuit ouvert en bout de câble d'un hydrophone à la pression acoustique efficace pour une fréquence donnée et une direction spécifiée d'un son à onde plane incident à l'emplacement du centre de référence de l'hydrophone dans le champ libre non perturbé si ce dernier a été retiré

Note 1 à l'article: La sensibilité en champ libre et en circuit ouvert est exprimée en volts par pascal, V/Pa.

Note 2 à l'article: Le terme 'réponse' est parfois employé à la place de 'sensibilité'.

3.16

niveau de sensibilité en champ libre et en circuit ouvert

vingt fois le logarithme de base 10 du rapport de la sensibilité en champ libre et en circuit ouvert, M_f , à une sensibilité de référence, M_{ref}

Note 1 à l'article: Le niveau de sensibilité en champ libre et en circuit ouvert est exprimé en décibels, dB.

Note 2 à l'article: La valeur de la sensibilité de référence, M_{ref} , est 1 V/μPa.

3.17

hydrophone

transducteur électroacoustique qui produit un signal électrique sous l'effet de signaux de pression transmis dans l'eau

Note 1 à l'article: Un hydrophone est conçu pour répondre principalement à une pression acoustique sous-marine.

Note 2 à l'article: En général, un hydrophone peut également produire un signal en réponse à des fluctuations de pression non acoustique (par exemple, celles existant dans la couche limite turbulente en conditions de crue).

Note 3 à l'article: Les types d'hydrophones incluent les hydrophones de référence et les hydrophones de mesure. Les hydrophones de mesure sont utilisés pour les mesures générales des champs acoustiques, et les hydrophones de référence sont principalement utilisés à des fins d'étalonnage (par exemple, pour les étalonnages par comparaison avec les hydrophones de mesure).

Note 4 à l'article: Les hydrophones sont principalement utilisés pour les appareils d'écoute, mais pour l'étalonnage par réciprocité, un hydrophone est utilisé en tant que transducteur réciproque, jouant non seulement le rôle d'un hydrophone, mais également d'un projecteur (source sonore).

Note 5 à l'article: Un hydrophone intégré dans un système d'acquisition de données est parfois appelé "hydrophone numérique", mais il est préférable de considérer cette combinaison comme un système de mesure, non comme un simple hydrophone.

Note 6 à l'article: Si un hydrophone est connecté à un amplificateur de charge, la sensibilité de l'hydrophone est parfois décrite en termes de sensibilité à la charge, qui est reliée à la sensibilité en tension de l'hydrophone par sa capacité électrique.

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.16, modifiée – Remplacer "transducteur" par "transducteur électroacoustique", et "signaux acoustiques transmis dans l'eau" par "signaux de pression transmis dans l'eau". Remplacer la note par les Notes 1 à 6 à l'article.]

3.18

tension en circuit ouvert

U_H

tension apparaissant aux bornes électriques d'un hydrophone non chargé électriquement

Note 1 à l'article: La tension en circuit ouvert d'un hydrophone est exprimée en volts, V.

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.19, modifiée – Supprimer "d'un hydrophone" du terme.]

3.19

pression acoustique de surcharge

p_o

rapport de la pression acoustique efficace maximale appliquée au niveau de l'hydrophone afin de provoquer une distorsion de la sortie de tension selon des critères spécifiés (linéarité) à la pression acoustique de référence à une fréquence spécifiée

Note 1 à l'article: La pression acoustique de surcharge est exprimée en pascals, Pa.

Note 2 à l'article: Il convient de spécifier les critères de tolérance de la distorsion.

3.20

niveau de pression acoustique de surcharge

vingt fois le logarithme de base 10 du rapport de la pression acoustique de surcharge, p_o , à une pression acoustique de référence, p_{o0}

Note 1 à l'article: Le niveau de pression acoustique de surcharge est exprimé en décibels, dB.

Note 2 à l'article: La valeur de la pression acoustique de référence, p_{00} , est 1 μPa .

3.21

angle de phase

argument de la sensibilité complexe en champ libre et en circuit ouvert, qui est égal à la différence de phase entre la tension en circuit ouvert en bout de câble d'un hydrophone et la pression acoustique pour une fréquence donnée et une direction spécifiée d'un son à onde plane incident à l'emplacement du centre de référence de l'hydrophone dans le champ libre non perturbé si l'hydrophone a été retiré

3.22

préamplificateur

dispositif électronique actif, souvent intégré dans un modèle particulier d'hydrophone, permettant de réduire son impédance de sortie et d'amplifier son signal de sortie

Note 1 à l'article: Un préamplificateur requiert une tension d'alimentation électrique.

Note 2 à l'article: Le préamplificateur peut faire l'objet d'un facteur de transmission de la tension directe inférieur à un, c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire qu'il s'agisse d'un amplificateur de tension stricto sensu.

Note 3 à l'article: Si un amplificateur différentiel est utilisé comme préamplificateur, son gain est généralement appelé gain de sortie différentielle, et le facteur sera supérieur de 2 à celui utilisé pour un préamplificateur à sortie unique équivalent (niveau augmenté de 6 dB). La sensibilité de l'hydrophone et du préamplificateur combinés est alors appelée sensibilité de sortie différentielle.

[SOURCE: IEC 62127-3:2007 [2], 3.12, modifiée – Supprimer "de l'hydrophone" du terme. Remplacer "connecté ou à connecter à un hydrophone particulier" par "souvent intégré dans un modèle particulier d'hydrophone", et ajouter "et d'amplifier son signal de sortie". Remplacer les notes par Notes 1 à 3 à l'article.]

3.23

sensibilité en pression

M_p
<d'un hydrophone> rapport de la tension de sortie efficace à la pression acoustique efficace établie en moyenne sur l'élément actif de l'hydrophone destiné à recueillir les signaux sonores, à une fréquence spécifiée

Note 1 à l'article: La sensibilité en pression d'un hydrophone est exprimée en volts par pascal, V/Pa.

Note 2 à l'article: Le terme 'réponse' est parfois employé à la place de 'sensibilité'.

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.22, modifiée – Remplacer "tension de sortie" par "tension de sortie efficace", à la pression acoustique existant réellement dans la région de l'hydrophone" par "à la pression acoustique efficace établie en moyenne sur l'élément actif de l'hydrophone", et ajouter "à une fréquence spécifiée". Remplacer les notes par Notes 1 à 2 à l'article.]

3.24

niveau de sensibilité en pression

vingt fois le logarithme de base 10 du rapport de la sensibilité en pression, M_p , à la sensibilité de référence, M_{ref}

Note 1 à l'article: Le niveau de sensibilité en pression est exprimé en décibels, dB.

Note 2 à l'article: La valeur de la sensibilité de référence, M_{ref} , est 1V/ μPa .

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.21].

3.25**axe principal**

direction de référence servant d'origine au système de coordonnées angulaires pour la description des caractéristiques de directivité de l'hydrophone

Note 1 à l'article: En général, l'axe de symétrie structurale ou la direction de réponse maximale est choisi(e) comme axe principal. Voir la Figure 1 qui fournit une description du système de coordonnées angulaires.

Note 2 à l'article: La direction de réponse maximale peut varier avec la fréquence du son.

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.23, modifiée – Remplacer “transducteur” par “hydrophone”.]

3.26**centre de référence**

point situé sur, à l'intérieur ou au voisinage d'un hydrophone, autour duquel ses caractéristiques électroacoustiques géométriques sont définies

Note 1 à l'article: Le centre de référence correspond souvent au centre géométrique d'un hydrophone, sauf indication contraire.

[SOURCE: IEC 60565:2006 [1], 3.25, modifiée – Remplacer “point sur ou au voisinage d'un transducteur” par “point situé sur, à l'intérieur ou au voisinage d'un hydrophone”, et “sa sensibilité de réception acoustique et les réponses à l'émission” par “ses caractéristiques électroacoustiques géométriques”. Remplacer la note par la Note 1 à l'article.]

3.27**pression acoustique**

p

différence entre la pression totale et la pression qui existerait en l'absence de son

Note 1 à l'article: La pression acoustique est exprimée en pascals, Pa.

Note 2 à l'article: Cette définition suit la convention adoptée avec l'ISO concernant la définition de la pression acoustique en tant que valeur instantanée. Il est à noter que dans l'IEC 60050-801-21 [4] (IEV), ce terme est désigné par “pression acoustique instantanée”. Dans le présent document, lorsqu'il s'agit de la pression acoustique efficace, celle-ci est explicitement désignée par le terme “pression acoustique efficace”.

Note 3 à l'article: Voir également l'ISO 80000-8:2007 [5], 8.9.2.

[SOURCE: ISO 18405:—2[6], 2.1.2.1]

3.28**incertitude**

<de mesure> paramètre, associé au résultat d'un mesurage, qui caractérise la dispersion des valeurs qui pourraient raisonnablement être attribuées au mesurande

[SOURCE: Guide ISO/IEC 98-3:2008 [7], 2.2.3]

4 Symboles

C_H capacité en bout de câble

f fréquence

$\underline{M}_f$ sensibilité complexe en champ libre et en circuit ouvert

M_f sensibilité en champ libre et en circuit ouvert

² En préparation. Stade au moment de la publication: ISO/DIS 18405:2016.

M_p	sensibilité en pression
p	pression acoustique
p_o	pression acoustique de surcharge
p_w	pression de bruit de largeur de bande équivalente
p_s	densité spectrale de la pression de bruit équivalente
R_L	résistance de fuite en bout de câble
U_H	tension en circuit ouvert
Z	impédance électrique

5 Caractéristiques d'un hydrophone

5.1 Généralités

Les hydrophones utilisés en acoustique sous-marine doivent généralement être du type piézoélectrique, avec ou sans préamplificateur intégré. Pour caractériser les performances d'un hydrophone de manière exhaustive, les informations données de 5.2 à 5.10 sont nécessaires. Les informations recommandées, à fournir par le fabricant, sont simplement résumées à l'Article 6.

5.2 Exigences de base

Les informations suivantes doivent être indiquées succinctement:

- le principe physique de base du processus de transduction;
- le type de matériau de l'élément, sa forme ainsi que la taille de l'élément;
- la capacité électrique de l'élément sensible;
- le type, la configuration et la taille globale de l'hydrophone;
- pour un hydrophone avec préamplificateur, un schéma de circuit simple, les exigences d'alimentation ainsi que les connexions du préamplificateur doivent être fournis;
- la position du centre de référence de l'élément de l'hydrophone à l'intérieur de l'ensemble du corps de l'hydrophone (important pour les considérations liées à la mesure de phase);
- la réponse directionnelle étalonnée d'un hydrophone;
- la fréquence de la résonance fondamentale de l'élément sensible de l'hydrophone;
- la longueur de câble de l'hydrophone;
- la masse avec ou sans câble;
- le numéro de série et le numéro de modèle du fabricant;
- la sensibilité de l'hydrophone, y compris toute dépendance en fréquence sur la bande de fréquences de fonctionnement.

Si des informations de phase sont exigées, l'angle de phase de la sensibilité (qui est égal à l'argument de la sensibilité complexe) doit être indiqué en complément de l'amplitude de la sensibilité (qui est égale au module de la sensibilité complexe), ainsi que la dépendance en fréquence de l'angle de phase.

5.3 Sensibilité

La sensibilité d'un hydrophone doit être exprimée en unités SI de volts par pascal (V/Pa) ou tout sous-multiple autorisé dans la convention SI. Il est nécessaire d'indiquer si la valeur de sensibilité donnée est prise au sens de la sensibilité en champ libre et en circuit ouvert ou de la sensibilité en pression.

L'incertitude de la sensibilité déclarée doit être indiquée.

Pour un hydrophone équipé d'un préamplificateur, le gain du préamplificateur doit être indiqué avec la dépendance en fréquence.

Le niveau de sensibilité de l'hydrophone doit être exprimé en décibels, et la valeur de référence de la sensibilité doit être indiquée.

La fréquence ou l'intervalle de fréquence pour laquelle/lequel la sensibilité est applicable doit être spécifié(e). Les méthodes d'obtention de la sensibilité et de son incertitude doivent être décrites.

Une période d'étalonnage recommandée doit être mentionnée dans les instructions d'utilisation. Cette recommandation doit être suivie, sauf indication contraire dans les normes d'application de dispositifs spécifiques.

Une période d'étalonnage d'un an sera appropriée dans la plupart des cas. Cependant, si un hydrophone est utilisé pour une application dans laquelle il est susceptible d'être endommagé, il convient que la période d'étalonnage soit inférieure à un an.

NOTE La valeur de la sensibilité de référence pour le calcul du niveau de sensibilité est 1 V/ μ Pa.

5.4 Réponse en fréquence

5.4.1 Bande de fréquences de fonctionnement déclarée

La bande de fréquences de fonctionnement déclarée pour l'hydrophone doit être indiquée en mentionnant la limite de fréquence inférieure et la limite de fréquence supérieure. La sensibilité de l'hydrophone doit être uniforme sur la bande de fréquences déclarée, avec une tolérance qui doit également être indiquée.

5.4.2 Dépendance en fréquence

La sensibilité ou le niveau de sensibilité de l'hydrophone en fonction de la fréquence doit être indiqué soit graphiquement, soit sous la forme d'une liste de valeurs et sur une plage de fréquences incluant au moins la bande de fréquences déclarée au 5.4.1. Si elle/il est donné(e) en tant que liste de valeurs ou de points discrets sur un graphique, l'intervalle de fréquence entre points adjacents doit être assez étroit pour permettre de faire apparaître tous les détails importants de la dépendance en fréquence, et pour que le niveau de sensibilité ne varie pas de plus de ± 1 dB entre des points adjacents.

Si la réponse en sensibilité est donnée sous la forme d'une liste de valeurs de sensibilité absolue, l'indication de sensibilité conforme au 5.3 peut être omise.

NOTE 1 La réponse en fréquence peut dépendre des conditions de charge électrique.

NOTE 2 Si, dans une application pratique, l'hydrophone est utilisé avec des composants électroniques ajoutés ultérieurement tels qu'un amplificateur, un numériseur, etc., la réponse en fréquence de l'ensemble du système sera également influencée par la réponse en fréquence de ces composants supplémentaires [8, 9].

5.5 Réponse directionnelle

Généralement, la réponse directionnelle de l'hydrophone est indiquée pour les quatre fréquences préférentielles les plus élevées de la bande de fréquences spécifiée selon le 5.4.1, conformément à l'ISO 266. La réponse directionnelle proche de la résonance fondamentale doit également être spécifiée si cette résonance est comprise dans la bande de fréquences de fonctionnement déclarée. La méthode utilisée pour déterminer la réponse directionnelle doit être mentionnée.

Chacune des réponses directionnelles résultantes obtenues à partir des mesures doit être indiquée.

5.6 Dynamique

5.6.1 Linéarité et niveau de pression acoustique de surcharge

La gamme linéaire de l'hydrophone doit être indiquée, c'est-à-dire la plage de pressions acoustiques dans laquelle l'hydrophone se comporte de manière linéaire selon les conditions décrites ci-dessous.

Les conditions sont les suivantes: Si, sur un tracé de la tension de sortie en bout de câble en fonction de la pression acoustique, il est possible de faire passer une ligne droite à travers l'origine de façon que, sur une certaine plage de pressions acoustiques, les valeurs de tension réelles ne s'écartent pas de la dépendance linéaire au-delà des critères de tolérance spécifiés, cette plage représente la gamme linéaire de l'hydrophone. Dans le cas contraire, quand la valeur de tension réelle s'écarte de la ligne droite selon les critères de tolérance spécifiés, le niveau de pression acoustique est appelé niveau de pression acoustique de surcharge. Ce doit être le cas pour toute fréquence incluse dans la bande de fréquences déclarée au 5.4.1.

Il convient de spécifier les critères de tolérance pour la linéarité.

5.6.2 Niveau de densité spectrale de la pression de bruit équivalente

La valeur du niveau de densité spectrale de la pression de bruit équivalente de l'hydrophone doit être indiquée.

NOTE 1 Généralement, le niveau de densité spectrale de la pression de bruit équivalente d'un hydrophone dépend du niveau de bruit électronique aux bornes électriques du préamplificateur et de la sensibilité de l'hydrophone.

NOTE 2 L'exigence relative au niveau de densité spectrale de la pression de bruit équivalente dépend de l'environnement dans lequel l'hydrophone est utilisé [10, 11].

5.6.3 Conditions exigées

La dynamique de l'hydrophone est généralement exprimée en décibels. La gamme de pression dynamique dans laquelle l'hydrophone peut être utilisé doit respecter au moins les conditions suivantes:

- aucun endommagement mécanique ou électrique de l'hydrophone;
- pas de saturation de sortie – le signal de sortie doit être inférieur à la valeur correspondant au niveau de pression acoustique de surcharge;
- le signal de sortie doit être supérieur à la valeur correspondant au niveau de densité spectrale de la pression de bruit équivalente.

NOTE "Saturation de sortie" signifie qu'un incrément de pression non nul au niveau de l'hydrophone n'induit pas de variation de tension.

5.7 Exigences électriques

5.7.1 Interférences électromagnétiques

Des informations ou des recommandations relatives aux moyens de réduire les effets des interférences électromagnétiques doivent être fournies. La conception de la structure et du circuit électrique de l'hydrophone doit être prise en compte pour réduire l'effet des interférences électriques par diaphonie.

5.7.2 Caractéristiques électriques

Pour les hydrophones possédant un préamplificateur intégré, les parties métalliques exposées du revêtement et du blindage électrostatique de l'hydrophone doivent être raccordées à l'écran du câble. Pour les hydrophones sans préamplificateur, les parties métalliques exposées et le blindage électrostatique ne doivent pas être raccordés à l'écran du câble, et la résistance de fuite en bout de câble doit être supérieure à 100 M Ω dans la bande de fréquences de 1 Hz à 100 kHz; pour les fréquences supérieures à 100 kHz, la résistance de fuite en bout de câble doit être supérieure à 100 k Ω .

NOTE Généralement, la tension appliquée pour mesurer la résistance de fuite en bout de câble est de 100 V.

5.8 Exigences mécaniques

Les types de matériaux (parmi lesquels peuvent figurer des boîtiers d'encapsulation en métal, en caoutchouc, en résine de coulée, en polyuréthane) exposés au liquide dans lequel il est permis d'utiliser l'hydrophone doivent être mentionnés.

Pour un hydrophone rempli avec de l'huile, le type d'huile utilisé doit être indiqué, et son impédance acoustique doit être proche de celle de l'eau.

Il convient que toutes les parties exposées d'un hydrophone soient constituées de matériaux compatibles avec la corrosion et résistants à la corrosion, possédant des caractéristiques de bon mouillage et de faible diffusion acoustique. Il convient, en particulier, d'éviter l'utilisation d'un grand nombre de métaux différents pour les composants exposés afin de prévenir l'apparition éventuelle d'une corrosion galvanique, et de favoriser la stabilité à long terme des caractéristiques.

Il convient de réaliser une suspension correcte de l'élément sensible pour prévenir les vibrations induites, et il est recommandé que la taille ne soit pas trop importante par rapport à la longueur d'onde acoustique.

5.9 Aspects environnementaux

La température de l'eau peut avoir une incidence sur la sensibilité d'un hydrophone. Des contraintes importantes développées au cours d'une submersion profonde peuvent modifier de façon permanente la sensibilité d'un élément en céramique piézoélectrique [12, 13]. Cela signifie qu'un hydrophone aura des limites concernant sa température et sa profondeur de fonctionnement [14, 15].

La gamme de températures de fonctionnement, la gamme de températures de stockage ainsi que la profondeur maximale de fonctionnement autorisées pour l'hydrophone doivent être indiquées.

L'exposition à la lumière solaire, aux produits chimiques, aux rayonnements ionisants et aux chocs mécaniques peut affecter les caractéristiques opérationnelles de l'hydrophone. Des recommandations ou des lignes directrices concernant les méthodes d'utilisation et de stockage des hydrophones permettant d'éviter ces effets délétères doivent être fournies.

5.10 Stabilité de la sensibilité

5.10.1 Stabilité en température

Le coefficient de température de sensibilité et la fréquence (ou gamme de fréquences) pour laquelle ce coefficient est applicable doivent être indiqués.

Il convient que le coefficient de température de sensibilité soit exprimé en unités linéaires en V/Pa/°C, ou en variation de pourcentage en fonction de la température. En remplacement, il convient d'indiquer le coefficient de niveau de sensibilité (exprimé en dB/°C). L'expression la plus appropriée pour le coefficient de température est déterminée par la linéarité de la

dépendance de la sensibilité vis-à-vis de la température et par le fait que la dépendance présente ou non une valeur importante.

NOTE La dépendance de la sensibilité de l'hydrophone vis-à-vis de la température peut être conditionnée par la fréquence, et peut être supérieure à des fréquences proches de la résonance de l'hydrophone [14, 15].

5.10.2 Stabilité en profondeur

Le coefficient de profondeur de sensibilité et la fréquence (ou gamme de fréquences) pour laquelle ce coefficient est applicable doivent être indiqués.

Il convient d'exprimer le coefficient de profondeur de sensibilité en unités linéaires en V/Pa/m, ou en variation de pourcentage en fonction de la profondeur. En remplacement, il convient d'indiquer le coefficient de niveau de sensibilité (exprimé en dB/m). L'expression la plus appropriée pour le coefficient de profondeur est déterminée par la linéarité de la dépendance de la sensibilité vis-à-vis de la profondeur et par le fait que la dépendance présente ou non une valeur importante.

NOTE 1 La dépendance de la sensibilité de l'hydrophone vis-à-vis de la profondeur peut être conditionnée par la fréquence, et peut être supérieure à des fréquences proches de la résonance de l'hydrophone [15].

NOTE 2 La dépendance de la sensibilité de l'hydrophone vis-à-vis de la pression hydrostatique est souvent utilisée pour remplacer la dépendance vis-à-vis de la profondeur d'immersion dans l'eau. Une augmentation de profondeur de 10 m dans l'océan équivaut à une augmentation de la pression hydrostatique d'environ 100,5 kPa.

5.10.3 Stabilité temporelle

Une période de réétalonnage doit être mentionnée dans les instructions d'utilisation de l'hydrophone. L'utilisateur doit suivre cette recommandation, sauf indication contraire dans les normes d'application de dispositifs spécifiques. La période de réétalonnage est la période durant laquelle la stabilité de l'hydrophone doit être considérée comme fiable en supposant que ce dernier n'a subi aucune dégradation.

6 Informations à fournir par le fabricant

Les informations exigées, concernant les propriétés de l'hydrophone, qui doivent être fournies par le fabricant sont récapitulées dans la liste suivante:

a) Fréquence

- Fréquence de la résonance mécanique fondamentale du capteur Hz
- Gamme de fréquences dans laquelle la courbe de réponse en fréquence est plate dans une limite de 3 dB Hz

b) Sensibilité

- La sensibilité en bout de câble (en V/Pa) et/ou le niveau de sensibilité (dB re. 1 V/ μ Pa) ainsi que sa courbe de réponse en fréquence dans la gamme de fréquences spécifiée incluant au moins la gamme de fréquences donnée au a) dB

c) Réponse directionnelle

- Modèles de réponse directionnelle horizontaux et verticaux pour les quatre fréquences préférentielles les plus élevées de la gamme de fréquences spécifiée conformément à l'ISO 266
- Modèles de réponse directionnelle horizontaux et verticaux pour la fréquence la plus proche de la résonance fondamentale si cette résonance est comprise dans la bande de fréquences déclarée

d) Élément sensible

- Matériau de l'élément
- Taille de l'élément sensible mm
- Capacité de l'élément sensible pF