

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Ultrasonics – Hydrophones –
Part 3: Properties of hydrophones for ultrasonic fields up to 40 MHz**

**Ultrasons – Hydrophones –
Partie 3: Propriétés des hydrophones pour les champs ultrasoniques
jusqu'à 40 MHz**





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 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 la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembé
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.

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you 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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 on-line and also once a month by email.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) on-line.

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 la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) 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 CEI

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

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI 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.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. 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 au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) en ligne.

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



**Ultrasonics – Hydrophones –
Part 3: Properties of hydrophones for ultrasonic fields up to 40 MHz**

**Ultrasons – Hydrophones –
Partie 3: Propriétés des hydrophones pour les champs ultrasoniques
jusqu'à 40 MHz**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 11.040.50

ISBN 978-2-8322-0850-2

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
INTRODUCTION.....	5
1 Scope.....	6
2 Normative references.....	6
3 Terms, definitions and symbols.....	6
4 List of symbols.....	8
5 Hydrophone characteristics.....	9
5.1 General.....	9
5.2 Basic information.....	9
5.3 Sensitivity.....	9
5.4 Frequency response.....	10
5.4.1 Stated frequency band.....	10
5.4.2 Frequency dependence.....	10
5.5 Directional response.....	11
5.5.1 General.....	11
5.5.2 Symmetry of directional response.....	11
5.6 Effective radius.....	11
5.7 Dynamic range, linearity and electromagnetic interference.....	12
5.8 Electric output characteristics.....	13
5.8.1 General Hydrophone without pre-amplifier	13
5.8.2 Hydrophone without pre-amplifier	
5.8.2 Hydrophone assembly.....	13
5.8.3 Output lead configuration.....	14
5.9 Environmental aspects.....	14
5.9.1 Temperature range.....	14
5.9.2 Water tightness.....	14
5.9.3 Water properties and incompatible materials.....	14
5.9.4 Exposed material.....	14
5.10 Guidance manual.....	14
5.11 List of hydrophone characteristics.....	14
Annex A (informative) Examples of information on hydrophone properties.....	16
Bibliography.....	21
Figure A.1 – Frequency response of 0,2 mm needle hydrophone.....	17
Figure A.2 – Directional response of 0,2 mm needle hydrophone.....	18
Table A.1 – Example of basic information for 0,2 mm needle hydrophone assembly.....	16

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ULTRASONICS – HYDROPHONES –

Part 3: Properties of hydrophones for ultrasonic fields up to 40 MHz

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 provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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.

This consolidated version of IEC 62127-3 consists of the first edition (2007) [documents 87/354/CDV and 87/373/RVC] and its amendment 1 (2013) [documents 87/530/FDIS and 87/535/RVD]. It bears the edition number 1.1.

The technical content is therefore identical to the base edition and its amendment and has been prepared for user convenience. A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1. Additions and deletions are displayed in red, with deletions being struck through.

International Standard IEC 62127-3 has been prepared by IEC technical committee 87: Ultrasonics.

The French version of the standard has not been voted upon.

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

A list of all parts of IEC 62127 series, published under the general title *Ultrasonics – Hydrophones*, can be found on the IEC website.

NOTE Words in **bold** in the text are defined in Clause 3.

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

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

IMPORTANT – The “colour inside” logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this publication using a colour printer.

INTRODUCTION

The spatial and temporal distribution of acoustic pressure in an ultrasonic field in a liquid medium is commonly determined using miniature ultrasonic **hydrophones**. The properties of these **hydrophones** have been dealt with in a number of IEC standards in various aspects. The purpose of this part of IEC 62127 is to bring together all these specifications and to establish a common standard on the properties of ultrasonic **hydrophones**. The main **hydrophone** application in this context is the measurement of ultrasonic fields emitted by medical diagnostic equipment in water. Other medical applications are field measurements for therapy equipment such as that used in lithotripsy, high-intensity focused ultrasound (HIFU) and physiotherapy. **Hydrophones** are also used extensively in non-medical applications for both product development and quality control including:

- mapping of the ultrasound field within ultrasonic cleaning baths;
- characterization of acoustic fields used in transmission measurement systems (e.g. ultrasonic spectrometers, ultrasonic attenuation meters and velocimeters);
- characterization of acoustic fields used in reflection measurement systems (e.g. Doppler flowmeters).

While the term "**hydrophone**" can be used in a wider sense, it is understood here as referring to miniature piezoelectric **hydrophones**. It is this instrument type that is used today in various areas of ultrasonics and, in particular, to quantitatively characterize the field structure of medical diagnostic instruments. With regard to other pressure sensor types, such as those based on fibre optics, some of the requirements of this standard are applicable to these as well but others are not. If in the future these other "**hydrophone**" types gain more importance in field measurement practice, their properties will have to be dealt with in a revised version of this standard or in a separate one.

Underwater **hydrophones** as covered by IEC 60500 and IEC 60565 are not included in this standard, although there is an overlap in the frequency ranges. Underwater **hydrophones** are used in natural waters, even in the ocean, and this leads to different technical concepts and requirements. In addition, the main direction of acoustic incidence in underwater applications is typically at right angles to the **hydrophone axis**, whereas it is assumed in this standard that it is in the direction of the **hydrophone axis**.

In the past, ultrasonic **hydrophones** have been applied almost exclusively as amplitude sensors. At present a change can be seen and it is increasingly considered useful to have additional phase information, which, however, is only possible if the phase characteristics of the **hydrophone** have been determined during calibration. In this standard, therefore, requirements are specified for the amplitude aspect of the **hydrophone** sensitivity, and recommendations are provided for the phase aspect, as an option to be considered.

ULTRASONICS – HYDROPHONES –

Part 3: Properties of hydrophones for ultrasonic fields up to 40 MHz

1 Scope

This part of IEC 62127 specifies relevant **hydrophone** characteristics.

This standard is applicable to:

- **hydrophones** employing piezoelectric sensor elements, designed to measure the pulsed and continuous wave ultrasonic fields generated by ultrasonic equipment;
- **hydrophones** used for measurements made in water;
- **hydrophones** with or without an associated pre-amplifier.

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application 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.

IEC 62127-1, *Ultrasonics – Hydrophones – Part 1: Measurement and characterization of medical ultrasonic fields up to 40 MHz*

IEC 62127-2, *Ultrasonics – Hydrophones – Part 2: Calibration for ultrasonic fields up to 40 MHz*

3 Terms, definitions and symbols

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 62127-1, IEC 62127-2 and the following apply.

3.1

directional response

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

NOTE Definition adopted from IEC 60565:2006.

3.2

effective hydrophone radius

a_h , a_{h3} , a_{h6}

radius of a stiff disc receiver **hydrophone** that has a predicted **directional response** function with an angular width equal to the observed angular width

NOTE 1 The angular width is determined at a specified level below the peak of the **directional response** function. For the specified levels of 3 dB and 6 dB, the radii are denoted by a_{h3} and a_{h6} respectively.

NOTE 2 The radius is usually the function of frequency. For representative experimental data, see [1].

NOTE 3 The **effective hydrophone radius** is expressed in metres (m).

3.3 electric load impedance

Z_L
complex electric input impedance (consisting of a real and an imaginary part) to which the **hydrophone** or **hydrophone assembly** output is connected or is to be connected

NOTE The **electric load impedance** is expressed in ohms (Ω).

3.4 end-of-cable

specification that relates to the end of the 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

3.5 end-of-cable loaded sensitivity end-of-cable loaded sensitivity of a hydrophone or hydrophone assembly

M_L
ratio of the instantaneous voltage at the end of any integral cable or output connector of a **hydrophone** or **hydrophone assembly**, when connected to a specified **electric load impedance**, to the instantaneous acoustic pressure in the undisturbed **free field** of a plane wave in the position of the **reference centre** of the **hydrophone** if the **hydrophone** were removed

NOTE **End-of-cable loaded sensitivity** is expressed in volts per pascal (V/Pa).

3.6 end-of-cable open-circuit sensitivity end-of-cable open-circuit sensitivity of a hydrophone

M_c
ratio of the instantaneous, open-circuit voltage at the end of any integral cable or output connector of a **hydrophone** to the instantaneous acoustic pressure in the undisturbed **free field** of a plane wave in the position of the **reference centre** of the **hydrophone** if the **hydrophone** were removed

NOTE 1 **End-of-cable open-circuit sensitivity** is expressed in volts per pascal (V/Pa).

NOTE 2 This corresponds to the **free field** sensitivity as defined in IEC 60565:2006, 3.15.

3.7 free field

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

NOTE Definition adopted from IEC 60565:2006, 3.13.

3.8 hydrophone geometrical radius geometrical radius of a hydrophone active element

a_g
radius defined by the dimensions of the active element of a **hydrophone**

NOTE The **hydrophone geometrical radius** is expressed in metres (m).

3.9 hydrophone

transducer that produces electric signals in response to waterborne acoustic signals

[IEV 801-32-26]

3.10

hydrophone assembly

combination of **hydrophone** and **hydrophone pre-amplifier**

3.11

hydrophone axis

nominal symmetry axis of the **hydrophone** active element

NOTE Unless stated otherwise (explicitly and quantitatively) by the manufacturer, it is understood for the purposes of this standard that this is given by the apparent geometrical symmetry axis of the **hydrophone**.

3.12

hydrophone pre-amplifier

active electronic device connected to, or to be connected to, a particular **hydrophone** and reducing its output impedance

NOTE 1 A **hydrophone pre-amplifier** requires a supply voltage (or supply voltages).

NOTE 2 The **hydrophone 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.

3.13

reference centre

point on or near a **hydrophone** about which its acoustic receiving sensitivity is defined

NOTE 1 Unless stated otherwise (explicitly and quantitatively) by the manufacturer, it is understood for the purposes of this standard that this is given by the geometrical centre of the front surface of the **hydrophone** active element.

NOTE 2 Definition adopted from IEC 60565, 3.25.

3.14

uncertainty

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

NOTE 1 See the ISO *Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement* [2], 2.2.3

NOTE 2 Definition adopted from IEC 62127-1.

4 List of symbols

a_g **hydrophone** geometrical radius

a_h **effective hydrophone radius** (a_{h3} , a_{h6} : with special reference to a 3 dB or 6 dB definition, respectively)

c speed of sound in a medium

f frequency

$\underline{M}$ general symbol for the complex **hydrophone** sensitivity, $M = |\underline{M}|$ being its modulus and $\arg(\underline{M})$ being its argument (= phase angle)

M_c end-of-cable open-circuit sensitivity

M_L end-of-cable loaded sensitivity

$\underline{Z}_h$ complex electric output impedance of a **hydrophone** or **hydrophone assembly**

$\underline{Z}_L$ electric load impedance

θ angle of incidence of an ultrasonic wave with respect to the **hydrophone axis** (θ_3 , θ_6 : with special reference to 3 dB and 6 dB defined levels)

5 Hydrophone characteristics

5.1 General

For a full characterization of the **hydrophone** performance in the frequency range of this standard, the following information is required. Examples of information on **hydrophone** characteristics are provided in Annex A.

NOTE Determination methods are covered in IEC 62127-2.

5.2 Basic information

The following shall be briefly stated:

- the basic physical principles of the transduction process, the type of sensor material involved, the form and geometrical dimensions (diameter, thickness) of the **hydrophone** active element and the needle diameter in case of a needle **hydrophone**;
- the configuration and design of the **hydrophone**;
- whether or not a pre-amplifier is associated with the **hydrophone**; if the pre-amplifier can be disconnected from the **hydrophone**, clear information shall be given as to which pre-amplifier type belongs to which **hydrophone** type;
- the nominal direction of ultrasonic incidence in relation to the **hydrophone**.

NOTE The last point is important, as it has been found in the literature [3] that even with membrane **hydrophones**, the response might change upon reversal of the ultrasonic propagation direction in relation to the **hydrophone**.

The following should be briefly stated:

- the frequency of the fundamental thickness resonance of the **hydrophone** active element;
- the size and weight of the **hydrophone**;
- in the case of a membrane **hydrophone**, the acoustic reflection and transmission factor (preferably as a function of frequency).

General note relating to 5.3 and 5.4: if phase information is available, the phase angle (which equals the argument of the complex **hydrophone** sensitivity) should be stated in addition to the sensitivity (which equals the modulus of the complex **hydrophone** sensitivity), as well as the frequency dependence of the phase angle in addition to the frequency dependence of the sensitivity.

5.3 Sensitivity

The end-of-cable sensitivity of the **hydrophone** or **hydrophone assembly** shall be stated in V/Pa or in decimal submultiples, or as a logarithmic level in dB with reference to a stated sensitivity value.

If a pre-amplifier contributes to the sensitivity value given, this shall be stated.

It shall be stated whether the sensitivity value given is understood as the **end-of-cable open-circuit sensitivity** or as the **end-of-cable loaded sensitivity**. In the latter case, the relevant electric loading conditions shall be stated, i.e. the **electric load impedance**, in order to obtain the stated sensitivity.

The **uncertainty** of the stated sensitivity shall be given.

The frequency interval over which the sensitivity is given and over which the **uncertainty** applies shall be stated. For the purposes of this standard, sensitivity and **uncertainty** values may be given separately for several frequency intervals.

The methods by which the sensitivity and its **uncertainty** have been obtained shall be described.

The temperature dependence of the sensitivity shall be given. The **hydrophone** sensitivity shall be stated as a function of the water temperature, at least over the temperature range 19 °C to 25 °C, or the particular water temperature to which the stated sensitivity relates, shall be stated together with the temperature coefficient of the sensitivity.

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.

NOTE 1 A calibration period of one year will be appropriate in most cases.

The **reference centre** shall be stated if the sensitivity does not relate to the geometrical centre of the front surface of the **hydrophone** active element.

NOTE 2 This is particularly important for any phase considerations.

The direction of acoustic incidence shall be stated if the sensitivity does not relate to an incidence in the direction of the **hydrophone axis**.

5.4 Frequency response

5.4.1 Stated frequency band

The frequency band claimed for the **hydrophone** or **hydrophone assembly** shall be stated by giving the lower frequency limit and the upper frequency limit. The end-of-cable sensitivity of the **hydrophone** or **hydrophone assembly** shall be constant over the stated frequency band with a tolerance which shall also be stated.

5.4.2 Frequency dependence

The end-of-cable sensitivity or sensitivity level of the **hydrophone** or **hydrophone assembly** 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 distance between adjacent points should be low enough so 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.

The frequency response may be given in terms of absolute sensitivity values or in a relative representation, relative with reference to the absolute sensitivity of the **hydrophone** or **hydrophone assembly** at a certain frequency. In the case of the relative representation, the reference sensitivity and the frequency to which it applies shall be stated.

The statement of the frequency response shall refer to the same conditions (i.e. loaded or open-circuit output of the **hydrophone** or **hydrophone assembly**) as the sensitivity statement in accordance with 5.3.

If the **uncertainty** of the sensitivity values in the frequency response representation differs from the general **uncertainty** assessment of 5.3, this shall be clearly stated and the new or additional **uncertainty** shall be given. If the frequency response is presented graphically only, the additional **uncertainty** due to reading the graph shall be less than 10 % of the total **uncertainty** listed.

If the frequency response is given as a list of absolute sensitivity values (end-of-cable, loaded or open-circuit), the sensitivity statement in accordance with 5.3 may be omitted.

NOTE 1 The frequency response might depend on the electric load conditions.

NOTE 2 If, in a practical application, the **hydrophone** or **hydrophone assembly** 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.

5.5 Directional response

5.5.1 General

The **directional response** of the **hydrophone** shall be stated at both the lower and upper limits of the frequency band claimed under 5.4.1. The determination method used shall also be stated. The **directional response** shall also be stated at **a frequency which agrees within $\pm 15\%$ with the geometric mean of the lower and upper frequency limits, and at a frequency close to the fundamental thickness resonance if this resonance is inside the claimed frequency band.**

The **directional response** should be measured by rotating the **hydrophone** about an axis, which passes through the **reference centre** and which is perpendicular to the **hydrophone axis**, at least from -35° up to $+35^\circ$ (with the **hydrophone axis** as reference), or at least from the first left-hand minimum to the first right-hand minimum, whichever of the angular spans is the greater. If this method is used, this shall be done twice, namely about two rotational axes perpendicular to each other. If, in the plane perpendicular to its axis, a **hydrophone** has a certain distinct direction (for example that of the electric leads in the case of a membrane **hydrophone**), the rotational axes should be in this direction and perpendicular to it. If the active element is non-circular, one of the rotational axes shall be in the direction of the largest dimension. The directions of the rotational axes shall be identified on the **hydrophone** using a mark or in the accompanying literature.

The measurement of the directional response shall be carried out in an almost plane wave ultrasonic field.

If the active element is irregular in shape, or has more than two symmetry axes, the **directional response** should be measured around additional axes.

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

5.5.2 Symmetry of directional response

If, in any of the **directional response** results obtained, the angle between the direction of maximum response and the **hydrophone axis** is greater than $1/10$ of the angular difference between the left-hand -6 dB direction and the right-hand -6 dB direction, this shall be stated and the deviation-of-axis angle shall be given. The sensitivity level in the direction of the **hydrophone axis** shall be not lower than the maximum in any other direction minus 2 dB.

The symmetry of any directional response should be such that if a normalized sensitivity level of -6 dB occurs for some particular direction subtending a certain angle to the direction of maximum sensitivity (0 dB), then the sensitivity level measured on the opposite side subtending the same angle to the direction of maximum sensitivity shall be within the range -6 dB $\pm$ 3 dB.

NOTE Problems in field measurement practice will arise if the direction of maximum **hydrophone** response varies significantly with frequency.

5.6 Effective radius

From the **directional response** results obtained in accordance with 5.5, a value for the **effective radius** of the **hydrophone** active element shall be derived and stated as follows, and again at the frequencies given in 5.4.1

If, in the **directional response** considered, the angular difference between the left-hand -3 dB direction and the right-hand -3 dB direction is $2\theta_3$ and the angular difference between the left-

hand –6 dB direction and the right-hand –6 dB direction is $2\theta_6$, the following formulas for the **effective radii** shall apply under the assumption of circular geometry:

$$a_{h3} = 1,62 \, c / (2\pi f \sin \theta_3) \quad (1)$$

and

$$a_{h6} = 2,22 \, c / (2\pi f \sin \theta_6) \quad (2)$$

where

f is the relevant ultrasonic frequency of the particular measurement; and

c is the speed of sound in the liquid medium at the particular temperature.

The resulting **effective radius** associated with the **directional response** considered shall be calculated as the average of a_{h3} and a_{h6} .

If the active element is circular, the **effective radius** of the **hydrophone** shall be given as the average of the two **effective radii** obtained at the two orthogonal rotational axes. If the active element is non-circular, the highest of the **effective radii** obtained from the various **directional responses** shall be given as the **effective radius** of the **hydrophone**. If, in the latter case, the theoretical relation between the **directional response** and the **effective radius** is known for that particular shape, this formula shall be used; otherwise equation (1) and equation (2) shall be used as an approximation.

NOTE The radius is usually a function of the frequency. For representative experimental data see [3].

5.7 Dynamic range, linearity and electromagnetic interference

The dynamic range of the **hydrophone** or **hydrophone assembly**, i.e. the pressure amplitude range in which the **hydrophone** or **hydrophone assembly** can be used, shall be stated.

This range shall meet at least the following conditions:

- a) no mechanical or electrical damage to the **hydrophone** or **hydrophone assembly**;
- b) no output saturation;
- c) the output signal shall be above the noise level.

NOTE 1 "Output saturation" means that a non-zero pressure increment at the **hydrophone** does not lead to a voltage change.

NOTE 2 The noise level might depend on electromagnetic interference and might thus vary with the electromagnetic conditions at the place of measurement. Ideally, it might be possible to give a noise level representing all other sources of noise except electromagnetic interference.

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

The condition is as follows. If, on a plot of end-of-cable output voltage against **free field** acoustic pressure amplitude, a straight line can be drawn through the origin in such a way that over a certain pressure range the actual voltage values do not deviate from the straight line by more than $\pm 10\%$, this range is the linear range of the **hydrophone** or **hydrophone assembly**. This shall be the case for any frequency within the frequency band claimed under 5.4.1.

Information or advice on how to minimize the effects of electromagnetic interference ~~shall~~ **should** be provided.

5.8 Electric output characteristics

5.8.1 ~~General Hydrophone without pre-amplifier~~

The end-of-cable complex electric output impedance, $\underline{Z}_h$, of the **hydrophone** ~~or hydrophone assembly~~ shall be stated as a function of frequency. This can be done by giving the real and the imaginary part or by giving the values of the electrical components (such as resistance and capacitance) of an equivalent network. In the latter case, the type of network shall be clearly stated (e.g. the resistance being in series or parallel to the capacitance).

The relation between the complex **end-of-cable loaded sensitivity** and the complex **end-of-cable open-circuit sensitivity** will depend on $\underline{Z}_h$ and $\underline{Z}_L$ and is given by

$$\underline{M}_L = \underline{M}_c \{ \underline{Z}_L / (\underline{Z}_h + \underline{Z}_L) \} \quad (3)$$

with the moduli being given by

$$M_L = M_c \left\{ \frac{\text{Re}^2 \underline{Z}_L + \text{Im}^2 \underline{Z}_L}{[\text{Re} \underline{Z}_h + \text{Re} \underline{Z}_L]^2 + [\text{Im} \underline{Z}_h + \text{Im} \underline{Z}_L]^2} \right\}^{1/2} \quad (4)$$

where

M_L is the end-of-cable loaded sensitivity;

M_c is the end-of-cable open-circuit sensitivity;

"Re" and "Im" are the real and imaginary parts of the relevant quantity.

Equation (3) and equation (4) may be used for calculating correction factors if the actual **electric load impedance** does not agree with the conditions stated in connection with the sensitivity values given.

NOTE Equation (3) and equation (4) apply to a frequency domain consideration. In practical **hydrophone** applications with ultrasonic pulses, time domain considerations (temporal convolution and deconvolution) would need to be taken into account.

~~5.8.2 Hydrophone without pre-amplifier~~

For a **hydrophone** without a pre-amplifier, the **hydrophone end-of-cable** sensitivity can be stated as either loaded sensitivity or open-circuit sensitivity.

If the end-of-cable sensitivity is stated as loaded sensitivity, the relevant electric load conditions (**electric load impedance** or equivalent network components) to which the sensitivity values relate shall be stated. If the **hydrophone** is used under different load conditions, the sensitivity shall be corrected in accordance with equation (4).

If the **end-of-cable** sensitivity is given as open-circuit sensitivity and if the **hydrophone** output is connected to a finite **electric load impedance**, the sensitivity shall be corrected in accordance with equation (4).

~~5.8.35.8.2~~ Hydrophone assembly

For a **hydrophone assembly**, the end-of-cable sensitivity shall be stated as loaded sensitivity, and the relevant electric load conditions (**electric load impedance** or equivalent network components) to which the sensitivity values relate shall be stated. If the **hydrophone**

assembly is used under different load conditions, the sensitivity needs to be corrected ~~in accordance with equation (4).~~

5.8.45.8.3 Output lead configuration

The basic configuration of the output leads shall be explained, such as whether it is differential output (floating) or unsymmetric output, i.e. single output and the ground.

5.9 Environmental aspects

5.9.1 Temperature range

The permitted operating and storage temperature range for the **hydrophone** or **hydrophone assembly** shall be stated by the manufacturer.

5.9.2 Water tightness

It shall be stated which parts of the **hydrophone** or **hydrophone assembly** are waterproof and which are not. Limitations, if any, on the duration of water immersion (possibly as a function of temperature) shall be stated.

5.9.3 Water properties and incompatible materials

Limitations, if any, on the water conductivity shall be stated. The water conditions (for example conductivity, gas content) to which all the quantitative statements of **hydrophone** properties refer to shall be stated.

Limitations on incompatible materials (e.g. liquids, solutes) shall be stated.

5.9.4 Exposed material

Types of material (e.g. metal, rubber, casting resin, etc.) exposed to the liquid in which the **hydrophone** is allowed to be used shall be stated. All exposed **hydrophone** parts shall be made from corrosion-compatible and corrosion-resistant materials. In particular, the use of a variety of metals for exposed components should be avoided to avert the possible occurrence of galvanic corrosion.

Exposed metal parts of the **hydrophone** housing and electrostatic shield shall be connected to the cable screen.

5.10 Guidance manual

A detailed guidance manual shall be provided with the **hydrophone** or **hydrophone assembly**.

In addition to the information specified in 5.2 to 5.9, the manual should include the following:

- a drawing that shows the geometrical shape and size of the **hydrophone** or **hydrophone assembly**;
- guidance on the proper and safe use of the **hydrophone** or **hydrophone assembly**, including soak time, temperature range and maximum ultrasonic pressure;
- typical impedance plot and amplifier gain plot (if applicable) as a function of frequency.

5.11 List of hydrophone characteristics

The required information on **hydrophone** properties is summarized according to the following list:

- basic information, such as the acoustically active material, geometrical dimensions and whether or not a pre-amplifier is included;

- **hydrophone** sensitivity;
- frequency response (of the sensitivity);
- **directional response** and effective radius;
- dynamic range and linear range;
- electric output impedance and lead configuration;
- environmental aspects.

Annex A (informative)

Examples of information on hydrophone properties

A.1 General

This annex provides sample information on a 0,2 mm needle **hydrophone** that is designed to be used in conjunction with a submersible **hydrophone pre-amplifier**. Wherever acoustic properties of the **hydrophone** are stated, they relate to the **hydrophone/pre-amplifier** combination (**hydrophone assembly**).

NOTE The material given in this annex is only a demonstration of how the information is to be presented and does not mean an endorsement of a specific product.

A.2 Basic information

Table A.1 – Example of basic information for 0,2 mm needle hydrophone assembly

Required characteristic information	Example 0,2 mm needle hydrophone
Transduction method	Piezoelectric conversion
Sensor material	Polyvinylidene fluoride (PVDF)
Active element geometrical dimensions	Diameter 0,2 mm, thickness 9 µm
Piezo-film thickness resonance frequency	63 MHz
Typical sensitivity at 3 MHz	50 nV/Pa (further data in A.3)
Outer diameter of needle shaft	0,5 mm
Weight of hydrophone	1,5 g
Length of hydrophone	Overall: 55 mm, needle shaft: 35 mm
Pre-amplifier	Hydrophone to be used in conjunction with a submersible pre-amplifier with generic model number NNNN
Nominal output impedance	50 Ω
Intended orientation in use (nominal direction of ultrasound incidence)	Needle tip pointing directly towards the acoustic source

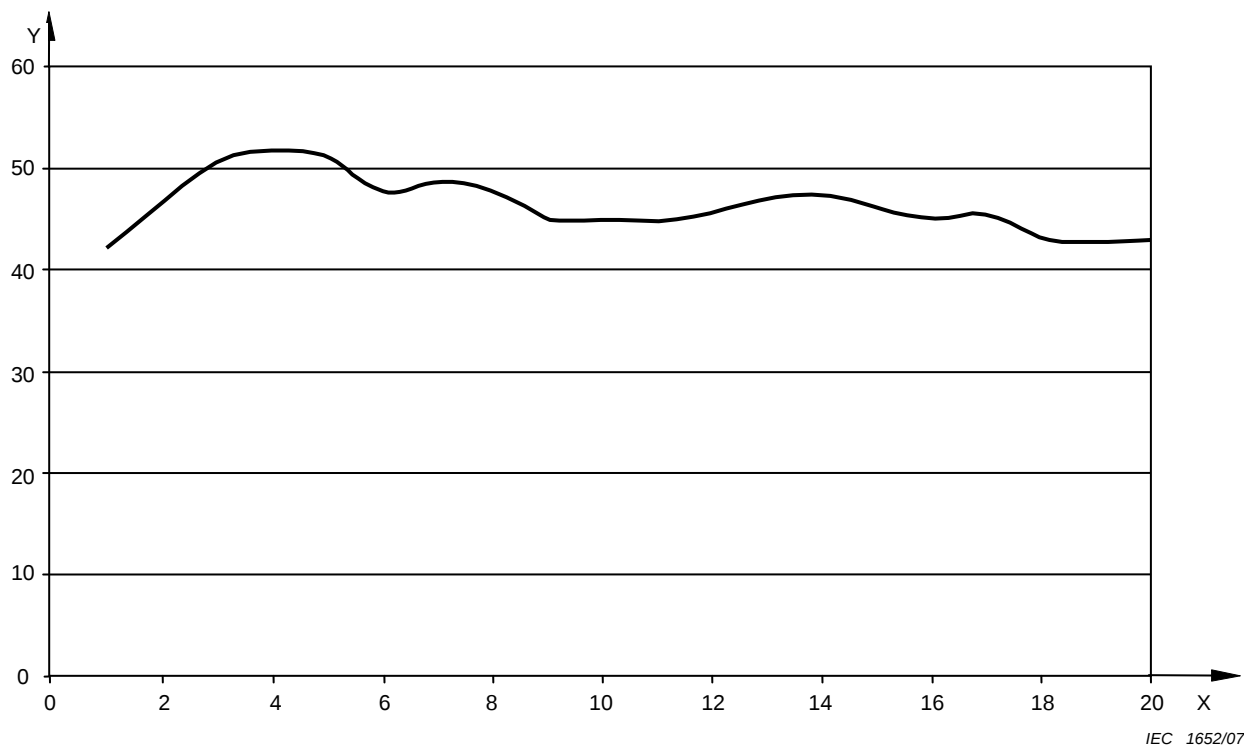
A.3 Sensitivity and frequency response

Figure A.1 shows the **end-of-cable loaded sensitivity** for the needle **hydrophone** used in conjunction with its appropriate pre-amplifier, when loaded by 50 Ω.

This frequency response graph was obtained by substitution calibration and follows the method described by Smith and Bacon [4]. It made use of an ultrasonic source that produced a highly shocked waveform containing a wide harmonic content. This calibration used an acoustic source with a fundamental frequency of 1 MHz. This provided a source waveform with a significant ultrasonic energy signal at integer multiples of the fundamental and thereby permitted calibration of the **hydrophone** from 1 MHz to 20 MHz in 1 MHz increments. The **hydrophone** was calibrated at $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

NOTE 1 The temperature coefficient of the sensitivity is given in Clause A.8.

Needle **hydrophones** used to make absolute measures of acoustic pressure should be calibrated at least once every 12 months. The **hydrophone** should be checked against a reference source on a monthly basis so that variations in sensitivity are identified sooner than the annual calibration interval.



Key

X frequency (MHz)

Y sensitivity (nV/Pa)

Figure A.1 – Frequency response of 0,2 mm needle hydrophone

Hydrophone sensitivity: (47 ± 5) nV/Pa

Hydrophone frequency band: 1 MHz to 20 MHz

Measurement **uncertainty** 1 MHz to 8 MHz: 14 %, 9 MHz to 20 MHz: 18 %

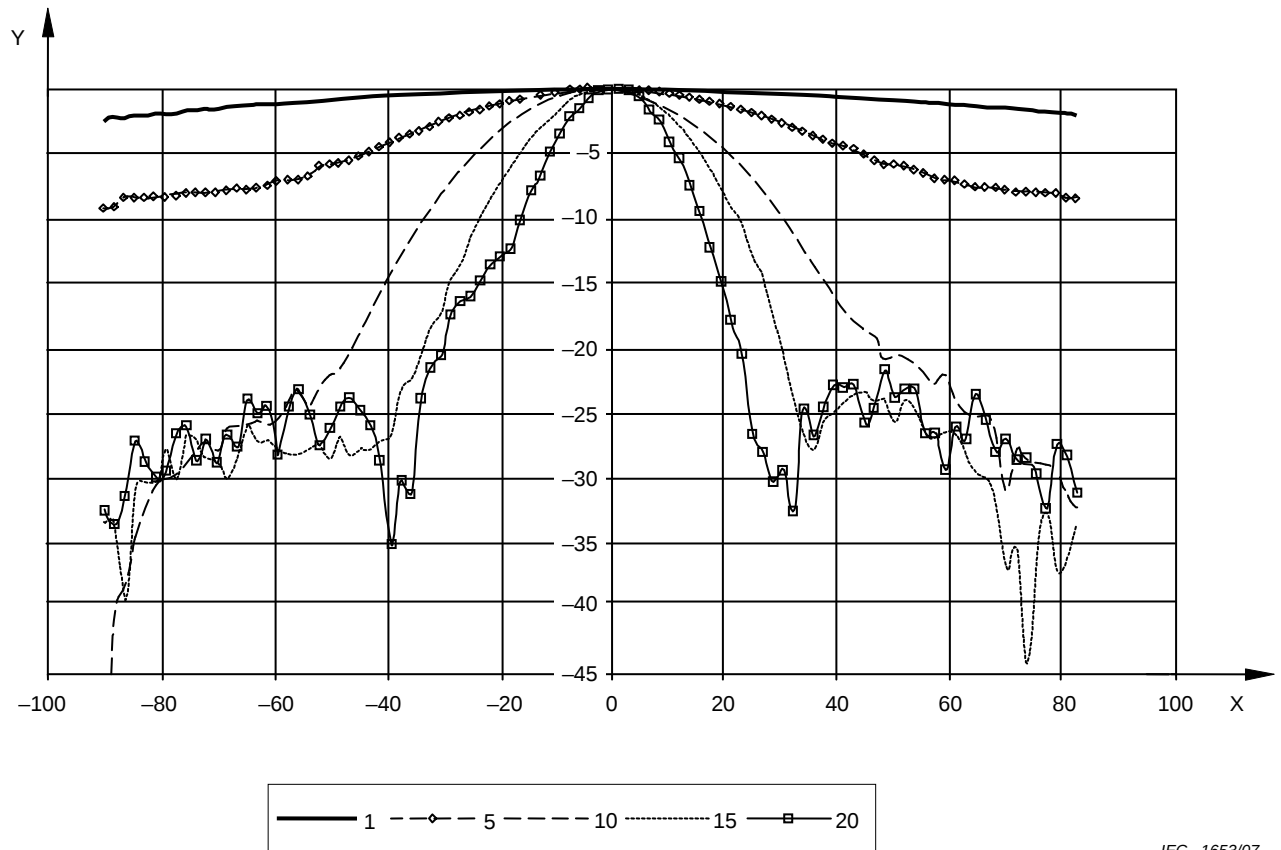
The measurement **uncertainty** for the frequency response measurement was determined in accordance with the methods established in [1]. One of the main uncertainty contributions is that due to the calibration of the reference **hydrophone** used in the calibration, which itself is traceable to national primary standards.

NOTE 2 A paper explaining the frequency behaviour of needle **hydrophones** is given in [5].

A.4 Directional response

The **directional response** of the **hydrophone** was established using the same nonlinear field as that used in the determination of the frequency response. The **hydrophone** was placed in a mounting fixture that permitted the precise position of the active element to be adjusted. The **hydrophone's** tip was then adjusted so that there was less than 100 ns temporal shift of the

recorded waveform when it was rotated in the field. This alignment ensured that the **hydrophone** was not displaced during rotation and therefore that any variations in received signal were due only to the **directional response** of the **hydrophone**. By recording the waveform generated by the **hydrophone** as a function of angle, the **directional response** at a range of frequencies could be established. The **directional response** of the 0,2 mm needle **hydrophone** at 1 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz and 20 MHz has been plotted in Figure A.2.



IEC 1653/07

X angle (degrees)

Y relative amplitude (dB)

Figure A.2 – Directional response of 0,2 mm needle hydrophone

NOTE 1 Figure A.2 shows curves for only one of the two perpendicular rotational axes covered in 5.5.

NOTE 2 The **directional response** curves from 5 MHz to 20 MHz shown in Figure A.2 fulfil the symmetry criterion of 5.5.2. It is not possible to assess this at 1 MHz since the **directional response** curve does not reach the –6 dB limit. See the box below the graph for the frequency identification.

NOTE 3 The frequency value of 5 MHz agrees with the geometric mean of 1 MHz and 20 MHz within $\pm 15\%$, in accordance with 5.5.1.

A.5 Effective radius

The **effective radius** of the **hydrophone** was calculated from the angles at which the –3 dB and –6 dB points of a **directional response** curve occur in accordance with the methods described in 5.6. The **effective radii** for the 0,2 mm **hydrophone** was found as

0,131 mm at 5 MHz; 0,124 mm at 10 MHz; 0,114 mm at 15 MHz; 0,121 mm at 20 MHz.

NOTE 1 It is the average of a_{h3} and a_{h6} that has been stated here.

NOTE 2 It is not possible to assess the **effective hydrophone radius** using the specified method at 1 MHz since the **directional response** curve reaches neither the –3 dB nor the –6 dB limits.

A.6 Dynamic range, linearity and electromagnetic interference

A.6.1 Lower dynamic limit

The noise floor of the **hydrophone assembly** limits the measurement of small acoustic signals. The noise level of the pre-amplifier is approximately 50 µV rms over a 100 MHz bandwidth. If the **hydrophone** sensitivity is assumed to be 50 nV/Pa, the noise level stated leads to a noise equivalent pressure of $50 \mu\text{V} / 50 \text{ nV/Pa} = 1 \text{ kPa}$.

NOTE The data acquisition system being used to record the waveforms produced by the **hydrophone** can also limit the minimum recordable signal. For example, an oscilloscope that is limited to a maximum resolution of 0,5 mV will only be able to display signals of amplitude $0,5 \text{ mV} / 50 \text{ nV/Pa} = 10 \text{ kPa}$ or greater.

~~Noise equivalent pressure = 1 kPa.~~

A.6.2 Upper dynamic limit

Concerning the pressure threshold above which mechanical damage occurs to the **hydrophone**: this **hydrophone** has been designed for use in fields up to 20 MPa. Although **hydrophones** of this type have been used for ultrasonic fields that exceed 50 MPa, there is an elevated risk of damage. The suppliers advice should be sought if the **hydrophone** is to be used in fields containing acoustic pressure levels beyond 20 MPa.

Concerning the pressure beyond which amplifier saturation occurs: the pre-amplifier that is used with this **hydrophone** can start to exhibit nonlinearities when its output voltage exceeds a 2 000 mV peak. Taking into account the typical **hydrophone** sensitivity, this corresponds to a pressure of $2\,000 \text{ mV} / 50 \text{ nV/Pa} = 40 \text{ MPa}$. If pressure fields in excess of this value are to be encountered, contact the **hydrophone** supplier to consider in-line attenuation options.

~~Threshold of linearity = The linear range is from 1 kPa to 40 MPa.~~

Possible damage threshold = 20 MPa.

A.7 Electric output characteristics

~~No representative data are available here as this has not been determined for the hydrophone described here.~~ The electric load condition to which the sensitivity values of A.3 relate is 50 Ω.

A.8 Environmental aspects

This **hydrophone assembly** can be used for measurement over an operating temperature range of 5 °C to 50 °C, and can be stored over the range 5 °C to 50 °C. Exposure to temperatures above 60 °C has the potential to cause irreversible damage to the **hydrophone**.

This **hydrophone assembly** has been calibrated at a temperature between 19 °C and 25 °C. The sensitivity of the **hydrophone** will be a function of temperature and an increase in the sensitivity of 0,6 % per degree temperature rise should be expected.

The **hydrophone assembly** has been designed for complete immersion in water and can easily withstand the hydrostatic pressure caused by 2 m of water. Although the **hydrophone assembly** can be used for prolonged periods (> 48 h) of immersion, the **hydrophone** should be withdrawn from water and allowed to dry whenever it is not in use.

There are no specific operating requirements in terms of water quality for use of this **hydrophone**. However, **hydrophone** measurements standards such as the IEC 62127-1 or the AIUM/NEMA output measurement standard [6] might have specific requirements for water quality.

NOTE Prolonged immersion in water that has not been deionized (e.g. tap water) can lead to a build-up of deposits on the **hydrophone** tip. Calcium carbonate deposits can be a particular problem in "hard" water areas and will lead to a loss of sensitivity of the **hydrophone**.

Although designed for operation in water, the **hydrophone assembly** can be used in many other liquid media. It should be noted, however, that the calibration of this **hydrophone** was undertaken in water. Other materials present different acoustic impedance loads on the **hydrophone** active element and this is likely to affect the sensitivity of the **hydrophone**. Certain liquids should be avoided due to their chemically aggressive nature. Examples of materials that should be avoided are:

- a) concentrated acids (e.g. nitric acid, sulphuric acid);
- b) concentrated alkalis (e.g. sodium hydroxide);
- c) strong organic solvents [e.g. many aldehydes, many ketones, ~~dough-moulding compound~~ dimethylene chloride (DMC), dimethylformamide (DMF)].

As supplied, the only materials of the **hydrophone assembly** that are exposed to the surrounding liquid are gold, stainless steel, polytetrafluoroethylene (PTFE), brass and the polyvinyl chloride (PVC) cladding on the pre-amplifier cable. However, if the outer gold electrode on the **hydrophone** becomes damaged, the PVDF and a rigid casting resin might also become exposed.

Bibliography

- [1] RADULESCU, EG., LEWIN, PA., NOWICKI, A. and BERGER, WA. Hydrophones' effective diameter measurements as a quasi-continuous function of frequency. *Ultrasonics*, 2003, vol. 41, iss. 8, p. 635-641.
- [2] ISO *Guide to the expression of uncertainty in measurement*. Geneva, Switzerland, 1995.
- [3] FAY, B., LEWIN, PA., LUDWIG, G., SESSLER, GM. and YANG, G. The influence of spatial polarization distribution on spot poled PVDF membrane hydrophone performance. *Ultrasound Med. Biol.*, 1992, vol. 18, no. 6-7, p. 625-635.
- [4] SMITH, RA. and BACON, DR. A multiple-frequency hydrophone calibration technique. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1990, vol. 87, p. 2231-2243.
- [5] FAY, B., LUDWIG, G., LANKJAER, C. and LEWIN, PA. Frequency response of PVDF needle-type hydrophones. *Ultrasound Med. Biol.* 1994, vol. 20, no. 4, p. 361-366.
- [6] AIUM/NEMA. *Acoustic output measurement standard for diagnostic ultrasound equipment*. (NEMA Standards Publication UD 2-2004, Revision 3). Laurel, MD: American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM); Rosslyn, VA: National Electrical Manufacturers Association (NEMA), 2004.

Other publications

IEC 60050-801, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 801: Acoustics and electroacoustics*

IEC 60050-802, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 802: Ultrasonics*

IEC 60565, *Underwater acoustics – Hydrophones – Calibration in the frequency range 0,01 Hz to 1 MHz*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	23
INTRODUCTION.....	25
1 Domaine d'application.....	26
2 Références normatives	26
3 Termes, définitions et symboles	26
4 Liste des symboles	28
5 Caractéristiques de l'hydrophone	29
5.1 Généralités.....	29
5.2 Informations de base	29
5.3 Sensibilité.....	29
5.4 Réponse en fréquence.....	30
5.4.1 Bande de fréquences indiquée	30
5.4.2 Dépendance à la fréquence	30
5.5 Réponse directionnelle	31
5.5.1 Généralités	31
5.5.2 Symétrie de la réponse directionnelle	31
5.6 Rayon efficace.....	32
5.7 Gamme dynamique, linéarité et interférence électromagnétique	32
5.8 Caractéristiques de la sortie électrique	33
5.8.1 Généralités Hydrophone sans préamplificateur	33
5.8.2 Hydrophone sans préamplificateur	
5.8.2 Ensemble d'hydrophones	34
5.8.3 Configuration des fils de sortie	34
5.9 Aspects liés à l'environnement.....	34
5.9.1 Plage de températures.....	34
5.9.2 Étanchéité à l'eau	34
5.9.3 Propriétés de l'eau et matériaux incompatibles.....	34
5.9.4 Matériau exposé	34
5.10 Manuel d'instructions	35
5.11 Liste des caractéristiques de l'hydrophone	35
Annexe A (informative) Exemples d'informations relatives aux propriétés de l'hydrophone	36
Bibliographie	41
Figure A.1 – Réponse en fréquence de l'hydrophone à aiguille de 0,2 mm	37
Figure A.2 – Réponse directionnelle de l'hydrophone à aiguille de 0,2 mm	38
Tableau A.1 – Exemple d'informations de base relatives à un ensemble d'hydrophones à aiguille de 0,2 mm	36

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ULTRASONS – HYDROPHONES –

**Partie 3: Propriétés des hydrophones pour les champs
ultrasoniques jusqu'à 40 MHz**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI 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, la CEI – 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 la CEI"). 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 la CEI, participent également aux travaux. La CEI 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 la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI 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 la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI 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 la CEI. La CEI 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 la CEI, 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 la CEI, 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 la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, 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 la CEI peuvent faire l'objet de droits de brevet. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

Cette version consolidée de la CEI 62127-3 comprend la première édition (2007) [documents 87/354/CDV et 87/373/RVC] et son amendement 1 (2013) [documents 87/530/FDIS et 87/535/RVD]. Elle porte le numéro d'édition 1.1.

Le contenu technique de cette version consolidée est donc identique à celui de l'édition de base et à son amendement; cette version a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1. Les ajouts et les suppressions apparaissent en rouge, les suppressions sont barrées.

La Norme internationale CEI 62127-3 a été établie par le comité d'études 87 de la CEI: Ultrasons.

La version française de la norme n'a pas été soumise au vote.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 62127, publiées sous le titre général *Ultrasons – Hydrophones*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

NOTE Les mots en **gras** dans le texte sont définis à l'Article 3.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de son amendement ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "*colour inside*" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

La répartition spatiale et temporelle de la pression acoustique d'un champ ultrasonique en milieu liquide est généralement déterminée à l'aide d'**hydrophones** à ultrasons miniatures. Les propriétés de ces **hydrophones** ont été abordées dans un certain nombre de normes CEI sous divers aspects. La présente partie de la CEI 62127 a pour objet de rassembler toutes ces spécifications et d'établir une norme commune relative aux propriétés des **hydrophones** à ultrasons. Dans ce cadre, la principale application de l'**hydrophone** consiste à mesurer les champs ultrasoniques émis par des équipements de diagnostic médical dans l'eau. D'autres applications médicales consistent à mesurer les champs des appareils de thérapie comme ceux utilisés en lithotritie, en ultrasons focalisés de haute intensité (UFHI) et en physiothérapie. Les **hydrophones** sont également utilisés couramment dans les applications non médicales pour le développement de produits et le contrôle qualité, notamment:

- le mappage du champ ultrasonique dans des bains de nettoyage à ultrasons;
- la caractérisation des champs acoustiques utilisés dans les systèmes de mesure de la transmission (les spectromètres à ultrasons, les mesureurs d'atténuation ultrasoniques et les vélocimètres, par exemple);
- la caractérisation des champs acoustiques utilisés dans les systèmes de mesure par réflexion (les débitmètres Doppler, par exemple).

Si le terme "**hydrophone**" peut être utilisé dans un sens plus large, il fait référence ici aux **hydrophones** piézoélectriques miniatures. Il s'agit d'un type d'instrument utilisé aujourd'hui dans différents domaines des ultrasons, notamment pour caractériser de manière quantitative la structure du champ des instruments de diagnostic médical. Concernant d'autres types de capteur de pression (ceux reposant sur les fibres optiques, par exemple), certaines exigences de la présente norme leurs sont également applicables, mais d'autres pas. Si, à l'avenir, ces autres types d'"**hydrophone**" prennent de l'importance dans la pratique de mesure de champ, leurs propriétés devront faire l'objet d'une version révisée de la présente norme ou d'une norme distincte.

Les **hydrophones** immergés, tels que couverts par la CEI 60500 et la CEI 60565, ne sont pas abordés dans la présente norme, malgré le chevauchement dans les plages de fréquences. Les **hydrophones** immergés sont utilisés en eaux naturelles (même dans l'océan), cela aboutissant à différents concepts techniques et différentes exigences. En outre, la direction principale de l'incidence acoustique dans les applications immergées est décrite en général par un angle droit par rapport à l'**axe de l'hydrophone**, alors qu'il est admis dans la présente norme de considérer la direction de l'**axe de l'hydrophone**.

Dans le passé, les **hydrophones** à ultrasons faisaient pratiquement toujours office de détecteurs d'amplitude. A présent, les modifications sont perceptibles et il est de plus en plus considéré comme utile de détenir des informations de phase supplémentaires qui, toutefois, sont uniquement possibles si les caractéristiques de phase de l'**hydrophone** ont été déterminées lors de l'étalonnage. Par conséquent, dans la présente norme, les exigences sont spécifiées en ce qui concerne les aspects liés à l'amplitude de la sensibilité de l'**hydrophone** et des recommandations sont fournies pour les aspects liés à la phase comme option à prendre en compte.

ULTRASONS – HYDROPHONES –

Partie 3: Propriétés des hydrophones pour les champs ultrasoniques jusqu'à 40 MHz

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 62127 spécifie les caractéristiques pertinentes de l'**hydrophone**.

La présente norme s'applique aux:

- **hydrophones** utilisant des capteurs piézoélectriques, conçus pour mesurer les champs ultrasoniques à ondes par impulsions et entretenues générés par les appareils à ultrasons;
- **hydrophones** utilisés pour les mesures réalisées dans l'eau;
- **hydrophones** avec ou sans préamplificateur associé.

2 Références normatives

Les documents référencés ci-dessous sont indispensables à l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition mentionnée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition de la publication à laquelle il est fait référence (y compris ses amendements) s'applique.

CEI 62127-1, *Ultrasons – Hydrophones – Partie 1: Mesures et caractérisation des champs ultrasoniques médicaux jusqu'à 40 MHz*

CEI 62127-2, *Ultrasons – Hydrophones – Partie 2: Etalonnage pour les champs ultrasoniques jusqu'à 40 MHz*

3 Termes, définitions et symboles

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de la CEI 62127-1, de la CEI 62127-2 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1

réponse directionnelle

description, généralement présentée sous forme de graphique, de la réponse d'un **hydrophone**, en fonction de la direction de propagation de l'onde sonore incidente plane, dans un plan défini passant par le **centre de référence** et à une fréquence spécifiée

NOTE Définition adaptée de la CEI 60565:2006.

3.2

rayon efficace de l'hydrophone

a_h , a_{h3} , a_{h6}

rayon d'un **hydrophone** de récepteur à disque tendu doté d'une fonction de **réponse directionnelle** prévue à angle d'ouverture égal à l'angle d'ouverture observé

NOTE 1 L'angle d'ouverture est déterminé à un niveau spécifié inférieur à la crête de la fonction de **réponse directionnelle**. Pour les niveaux spécifiés de 3 dB et 6 dB, les rayons sont respectivement indiqués par a_{h3} et a_{h6} .

NOTE 2 D'une manière générale, le rayon est la fonction de la fréquence. Pour obtenir des données expérimentales représentatives, voir [1].

NOTE 3 Le **rayon efficace de l'hydrophone** est exprimé en mètres (m).

3.3

impédance de charge électrique

Z_L

impédance d'entrée électrique complexe (composée d'une partie réelle et d'une partie imaginaire) à laquelle la sortie de l'**hydrophone** ou de l'**ensemble d'hydrophones** est connectée ou convient d'être connectée

NOTE L'**impédance de charge électrique** est exprimée en ohms (Ω).

3.4

bout de câble

spécification relative à l'extrémité du 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

3.5

sensibilité en bout de câble

sensibilité en bout de câble d'un **hydrophone** ou d'un **ensemble d'hydrophones**

M_L

rapport entre la tension instantanée à l'extrémité d'un câble intégré ou d'un connecteur de sortie d'un **hydrophone** ou d'un **ensemble d'hydrophones**, lorsqu'il est connecté à une **impédance de charge électrique** spécifiée, et la pression acoustique instantanée dans le **champ libre** non perturbé d'une onde plane dans la position du **centre de référence** de l'**hydrophone**, si ce dernier a été retiré

NOTE La **sensibilité en bout de câble** est exprimée en volts par pascal (V/Pa).

3.6

sensibilité en circuit ouvert en bout de câble

sensibilité en circuit ouvert en bout de câble d'un **hydrophone**

M_c

rapport entre la tension instantanée en circuit ouvert à l'extrémité d'un câble intégré ou d'un connecteur de sortie d'un **hydrophone** et la pression acoustique instantanée dans le **champ libre** non perturbé d'une onde plane dans la position du **centre de référence** de l'**hydrophone**, si ce dernier a été retiré

NOTE 1 La **sensibilité en circuit ouvert en bout de câble** est exprimée en volts par pascal (V/Pa).

NOTE 2 Elle correspond à la sensibilité en **champ libre** telle que définie dans la CEI 60565:2006, 3.15.

3.7

champ libre

champ acoustique en milieu homogène et isotrope dans lequel les effets des limites sont négligeables

NOTE Définition adaptée de la CEI 60565:2006, 3.13.

3.8

rayon géométrique de l'hydrophone

rayon géométrique d'un élément actif de l'hydrophone

a_g

rayon défini par les dimensions de l'élément actif d'un **hydrophone**

NOTE Le **rayon géométrique de l'hydrophone** est exprimé en mètres (m).

3.9

hydrophone

transducteur destiné à transformer en oscillations électriques les signaux acoustiques transmis en milieu liquide

[VEI 801-32-26]

3.10

ensemble d'hydrophones

combinaison d'un **hydrophone** et d'un **préamplificateur d'hydrophone**

3.11

axe de l'hydrophone

axe de symétrie nominal de l'élément actif de l'**hydrophone**

NOTE Sauf indication contraire (explicite et quantitative) du fabricant, il est entendu pour les besoins de la présente norme qu'il est donné par l'axe de symétrie géométrique apparent de l'**hydrophone**.

3.12

préamplificateur de l'hydrophone

dispositif électronique actif connecté ou à connecter à un hydrophone particulier et permettant de réduire son impédance de sortie

NOTE 1 Le **préamplificateur de l'hydrophone** requiert une/des tension(s) d'alimentation.

NOTE 2 Le **préamplificateur de l'hydrophone** peut faire l'objet d'un facteur de transmission de la tension directe inférieur à un, c'est-à-dire qu'il ne s'agit pas nécessairement d'un amplificateur de tension stricto sensu.

3.13

centre de référence

point sur ou au voisinage d'un **hydrophone**, autour duquel sa sensibilité de réception acoustique est définie

NOTE 1 Sauf indication contraire (explicite et quantitative) du fabricant, il est entendu pour les besoins de la présente norme qu'il est donné par le centre géométrique de la surface frontale de l'élément actif de l'**hydrophone**.

NOTE 2 Définition adaptée de la CEI 60565, 3.25.

3.14

incertitude

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

NOTE 1 Voir ISO *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure* [2], 2.2.3

NOTE 2 Définition reprise de la CEI 62127-1.

4 Liste des symboles

a_g rayon géométrique de l'**hydrophone**

a_h **rayon efficace de l'hydrophone** (a_{h3} , a_{h6} : avec référence spéciale à une définition 3 dB ou 6 dB, respectivement)

c vitesse du son dans un milieu

f fréquence

$\underline{M}$ symbole général de la sensibilité complexe de l'**hydrophone**, $M = |\underline{M}|$ étant un module et $\arg(\underline{M})$ étant son argument (= angle de phase)

M_c sensibilité en circuit ouvert en bout de câble

M_L sensibilité en bout de câble

$\underline{Z}_h$ impédance de sortie électrique complexe d'un **hydrophone** ou d'un **ensemble d'hydrophones**

$\underline{Z}_L$ impédance de charge électrique

θ angle d'incidence d'une onde ultrasonore par rapport à l'**axe de l'hydrophone** (θ_3 , θ_6 : avec référence spéciale à des niveaux définis à 3 dB et 6 dB)

5 Caractéristiques de l'hydrophone

5.1 Généralités

Pour caractériser de manière exhaustive les performances de l'**hydrophone** dans la plage de fréquences de la présente norme, les informations suivantes sont requises. Des exemples d'informations relatives aux caractéristiques de l'**hydrophone** sont fournis dans l'Annexe A.

NOTE Les méthodes de détermination sont traitées dans la CEI 62127-2.

5.2 Informations de base

Les éléments suivants doivent être brièvement indiqués:

- les principes physiques de base du processus de transduction, le type de matériau du capteur concerné, la forme et les dimensions géométriques (diamètre, épaisseur) de l'élément actif de l'**hydrophone** et le diamètre de l'aiguille dans le cas d'un **hydrophone** à aiguille;
- la configuration et la conception de l'**hydrophone**;
- si le préamplificateur est associé ou non à l'**hydrophone**; si le préamplificateur peut être déconnecté de l'**hydrophone**, des informations claires doivent être données pour préciser le type de préamplificateur appartenant au type d'**hydrophone**;
- la direction nominale de l'incidence ultrasonore liée à l'**hydrophone**.

NOTE Le dernier point est important. Des documents [3] ont démontré que, même avec des **hydrophones** à membrane, la réponse peut changer suite à l'inversion de la direction de propagation des ultrasons par rapport à l'**hydrophone**.

Il convient d'indiquer brièvement les éléments suivants:

- la fréquence de la résonance d'épaisseur fondamentale de l'élément actif de l'**hydrophone**;
- la taille et le poids de l'**hydrophone**;
- dans le cas d'un **hydrophone** à membrane, le reflet acoustique et le facteur de transmission (de préférence en fonction de la fréquence).

Note générale relative à 5.3 et 5.4: si des informations de phase sont disponibles, il convient de définir l'angle de phase (qui est égal à l'argument de la sensibilité complexe de l'**hydrophone**) en plus de la sensibilité (qui est égale au module de la sensibilité complexe de l'**hydrophone**), ainsi que la dépendance à la fréquence de l'angle de phase en plus de la dépendance à la fréquence de la sensibilité.

5.3 Sensibilité

La sensibilité en bout de câble de l'**hydrophone** ou de l'**ensemble d'hydrophones** doit être exprimée en V/Pa ou en sous-multiples décimaux ou sous la forme d'un niveau logarithmique en dB en référence à la valeur de sensibilité indiquée.

Si un préamplificateur participe à la valeur de sensibilité donnée, cela doit être précisé.

Il doit être précisé si la valeur de sensibilité indiquée s'entend de la **sensibilité en circuit ouvert en bout de câble** ou de la **sensibilité en bout de câble**. Dans ce dernier cas, les conditions de charge électrique correspondantes, c'est-à-dire l'**impédance de charge électrique**, doivent être indiquées afin d'obtenir la sensibilité indiquée.

L'**incertitude** de la sensibilité indiquée doit être donnée.

L'intervalle de fréquence sur lequel la sensibilité est donnée et sur lequel l'**incertitude** s'applique doit être indiqué. Pour les besoins de la présente norme, les valeurs de sensibilité et d'**incertitude** peuvent être données séparément pour plusieurs intervalles de fréquence.

Les méthodes permettant de déterminer la sensibilité et son **incertitude** doivent être indiquées.

La dépendance à la température de la sensibilité doit être donnée. La sensibilité de l'**hydrophone** doit être indiquée en fonction de la température de l'eau, au moins dans la plage de températures comprise entre 19 °C et 25 °C ou la température de l'eau particulière à laquelle se rapporte la sensibilité indiquée doit être indiquée avec le coefficient de température de la sensibilité.

Une période d'étalonnage recommandée doit être fournie dans les instructions d'utilisation. Cette recommandation doit être suivie, sauf indication contraire par les normes d'application du dispositif spécifiques.

NOTE 1 Une période d'étalonnage d'une année sera appropriée dans la plupart des cas.

Le **centre de référence** doit être précisé si la sensibilité n'est pas liée au centre géométrique de la surface frontale de l'élément actif de l'**hydrophone**.

NOTE 2 Cela est particulièrement important dans le cas des considérations de phase.

La direction de l'incidence acoustique doit être précisée si la sensibilité n'est pas liée à une incidence dans la direction de l'**axe de l'hydrophone**.

5.4 Réponse en fréquence

5.4.1 Bande de fréquences indiquée

La bande de fréquences demandée pour l'**hydrophone** ou l'**ensemble d'hydrophones** doit être précisée en donnant les limites de fréquence inférieure et supérieure. La sensibilité en bout de câble de l'**hydrophone** ou de l'**ensemble d'hydrophones** doit être constante sur toute la bande de fréquences indiquée, avec une tolérance devant également être précisée.

5.4.2 Dépendance à la fréquence

La sensibilité ou niveau de sensibilité en bout de câble de l'**hydrophone** ou de l'**ensemble d'hydrophones** en fonction de la fréquence doit être précisée de manière graphique ou sous la forme d'une liste de valeurs et sur une plage de fréquences contenant au moins la bande de fréquences demandée en 5.4.1. Si elle est donnée sous la forme d'une liste de valeurs ou de points discrets dans un graphique, il convient que la distance de fréquence entre les points adjacents soit suffisamment faible pour visualiser tous les détails importants de la dépendance à la fréquence et faire en sorte que le niveau de sensibilité ne varie pas de plus de ± 1 dB entre les points adjacents.

La réponse en fréquence peut être donnée en termes de valeurs de sensibilité absolue ou dans une représentation en valeur relative, en fonction de la référence à la sensibilité absolue de l'**hydrophone** ou de l'**ensemble d'hydrophones** à une certaine fréquence. Dans le cas d'une représentation en valeur relative, la sensibilité de référence et la fréquence à laquelle elle s'applique doivent être précisées.

La déclaration de la réponse en fréquence doit faire référence aux mêmes conditions (c'est-à-dire en charge ou sortie en circuit ouvert de l'**hydrophone** ou l'**ensemble d'hydrophones**) que la déclaration de sensibilité conformément à 5.3.

L'éventuelle différence entre l'**incertitude** des valeurs de sensibilité dans la représentation de la réponse en fréquence et l'**incertitude** générale évaluée en 5.3 doit être indiquée clairement

et la nouvelle **incertitude** ou l'**incertitude** supplémentaire doit être donnée. Si la réponse en fréquence est présentée sous forme de graphique uniquement, l'**incertitude** supplémentaire due à la lecture du graphique doit être inférieure à 10 % de l'**incertitude** totale indiquée.

Si la réponse en fréquence est donnée sous la forme d'une liste de valeurs de sensibilité absolue (en bout de câble, en charge ou circuit ouvert), la déclaration de sensibilité conformément à 5.3 peut être ignorée.

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

NOTE 2 Si, dans une application pratique, l'**hydrophone** ou l'**ensemble d'hydrophones** est utilisé avec des composants électroniques subséquents (un amplificateur, un oscilloscope, par exemple), la réponse en fréquence de ces composants supplémentaires aura, bien entendu, une influence sur la réponse en fréquence de l'ensemble du système.

5.5 Réponse directionnelle

5.5.1 Généralités

La **réponse directionnelle** de l'**hydrophone** doit être indiquée aux limites inférieure et supérieure de la bande de fréquences demandée en 5.4.1. La méthode de détermination utilisée doit également être précisée. La **réponse directionnelle** doit également être indiquée à **une fréquence correspondant à ± 15 % de** la moyenne géométrique des limites de fréquence inférieure et supérieure, et **à une fréquence** proche de la résonance d'épaisseur fondamentale si cette résonance se trouve dans la bande de fréquences demandée.

Il convient de mesurer la **réponse directionnelle** par rotation de l'**hydrophone** autour d'un axe passant par le **centre de référence** et perpendiculaire à l'**axe de l'hydrophone**, compris au moins entre -35° et $+35^\circ$ (l'**axe de l'hydrophone** en référence) ou entre la valeur minimale de gauche et la valeur minimale de droite au moins, les portées angulaires les plus grandes étant retenues. Si cette méthode est utilisée, elle doit l'être deux fois, à savoir autour de deux axes perpendiculaires. Si, dans le plan perpendiculaire à cet axe, un **hydrophone** est orienté dans une certaine direction (celle des fils de sortie, par exemple, dans le cas d'un **hydrophone** à membrane), il convient que les axes de rotation soient orientés dans cette direction et perpendiculaires à celle-ci. Si l'élément actif n'est pas circulaire, l'un des axes de rotation doit être orienté dans la direction de la dimension la plus large. Les directions des axes de rotation doivent être identifiées sur l'**hydrophone** à l'aide d'une marque ou précisées dans les documents afférents.

La mesure de la réponse directionnelle doit être réalisée dans un champ ultrasonore d'onde presque plane.

Si la forme de l'élément actif n'est pas régulière ou comporte plus de deux axes de symétrie, il convient de mesurer la **réponse directionnelle** autour des axes supplémentaires.

Chacune des **réponses directionnelles** obtenues suite aux mesures doit être indiquée.

5.5.2 Symétrie de la réponse directionnelle

Si, dans l'un des résultats de **réponse directionnelle** obtenus, l'angle entre la direction de la réponse maximale et l'**axe de l'hydrophone** représente plus de 1/10 de la différence angulaire entre la direction à -6 dB à gauche et la direction à -6 dB à droite, cela doit être indiqué et l'angle par rapport à l'écart de l'axe doit être donné. Le niveau de sensibilité dans la direction de l'**axe de l'hydrophone** ne doit pas être inférieur à la valeur maximale dans une autre direction moins 2 dB.

Il convient que la symétrie d'une réponse directionnelle soit telle que, si un niveau de sensibilité normalisé de -6 dB se produit pour une direction particulière impliquant un certain angle par rapport à la direction de la sensibilité maximale (0 dB), le niveau de sensibilité

mesuré sur le côté opposé impliquant le même angle par rapport à la direction de la sensibilité maximale doit être de $-6 \text{ dB} \pm 3 \text{ dB}$.

NOTE Des problèmes dans la pratique de mesure de champ surviendront si la direction de la réponse maximale de l'**hydrophone** varie de manière significative avec la fréquence.

5.6 Rayon efficace

A partir des résultats de **réponse directionnelle** obtenus conformément à 5.5, une valeur correspondant au **rayon efficace** de l'élément actif de l'**hydrophone** doit être dérivée et stipulée comme suit, puis de nouveau aux fréquences données en 5.4.1.

Si, dans la **réponse directionnelle** considérée, la différence angulaire entre les directions à -3 dB à gauche et à -3 dB à droite est de $2\theta_3$ et que la différence angulaire entre les directions à -6 dB à gauche et à -6 dB à droite est de $2\theta_6$, les formules ci-dessous pour les **rayons efficaces** doivent s'appliquer dans l'idée d'une géométrie circulaire:

$$a_{h3} = 1,62 \text{ c}/(2\pi f \sin \theta_3) \quad (1)$$

et

$$a_{h6} = 2,22 \text{ c}/(2\pi f \sin \theta_6) \quad (2)$$

où

f est la fréquence ultrasonore pertinente de la mesure particulière; et

c est la vitesse du son en milieu liquide à la température particulière.

Le **rayon efficace** qui en résulte associé à la **réponse directionnelle** considérée doit être calculé comme la moyenne de a_{h3} et a_{h6} .

Si l'élément actif est circulaire, le **rayon efficace** de l'**hydrophone** doit être donné comme la moyenne des deux **rayons efficaces** obtenus au niveau des deux axes de rotation orthogonaux. Si l'élément actif n'est pas circulaire, le plus élevé des **rayons efficaces** obtenus à partir des différentes **réponses directionnelles** doit être donné comme le **rayon efficace** de l'**hydrophone**. Dans ce dernier cas, si la relation théorique entre la **réponse directionnelle** et le **rayon efficace** est connue pour cette forme particulière, cette formule doit être utilisée. Dans le cas contraire, les équations (1) et (2) doivent être utilisées comme approximation.

NOTE D'une manière générale, le rayon est une fonction de la fréquence. Pour obtenir des données expérimentales représentatives, voir [3].

5.7 Gamme dynamique, linéarité et interférence électromagnétique

La gamme dynamique de l'**hydrophone** ou de l'**ensemble d'hydrophones**, c'est-à-dire la plage d'amplitude de la pression dans laquelle l'**hydrophone** ou l'**ensemble d'hydrophones** peut être utilisé, doit être indiquée.

Cette gamme doit satisfaire au moins aux conditions suivantes:

- aucun dommage mécanique ou électrique de l'**hydrophone** ou de l'**ensemble d'hydrophones**;
- aucune saturation de sortie;
- le signal de sortie doit être supérieur au niveau de bruit.

NOTE 1 "Saturation de sortie" signifie qu'une augmentation de pression non nulle au niveau de l'**hydrophone** ne modifie pas la tension.

NOTE 2 Le niveau de bruit peut dépendre de l'interférence électromagnétique et, par conséquent, varier en fonction des conditions électromagnétiques à l'endroit de la mesure. Idéalement, il peut être possible de donner un niveau de bruit représentant toutes les autres sources de bruit, à l'exception de l'interférence électromagnétique.

L'intervalle linéaire de l'**hydrophone** ou de l'**ensemble d'hydrophones**, c'est-à-dire la plage d'amplitude de la pression dans laquelle l'**hydrophone** ou l'**ensemble d'hydrophones** se comporte de manière linéaire conformément aux conditions ci-dessous, doit être indiqué.

La condition est la suivante: Si, sur une représentation graphique de la tension de sortie en bout de câble par rapport à l'amplitude de pression acoustique en **champ libre**, une ligne droite passant par l'origine peut être tracée de sorte que, pour une certaine plage de pression, les valeurs de tension réelles ne s'écartent pas de la ligne droite de plus de $\pm 10\%$. Il s'agit de la plage linéaire de l'**hydrophone** ou de l'**ensemble d'hydrophones**. Cela doit être le cas pour toutes les fréquences de la bande de fréquences demandée en 5.4.1.

Il convient que des informations ou conseils sur la manière de réduire les effets de l'interférence électromagnétique ~~doivent être~~ soient fournies.

5.8 Caractéristiques de la sortie électrique

5.8.1 Généralités Hydrophone sans préamplificateur

L'impédance de sortie électrique complexe en bout de câble, $\underline{Z}_h$, de l'**hydrophone** ~~ou de l'ensemble d'hydrophones~~ doit être indiquée en fonction de la fréquence. Il s'agit de donner la partie réelle et imaginaire ou les valeurs des composants électriques (la résistance et la capacité électrique, par exemple) d'un réseau équivalent. Dans ce dernier cas, le type de réseau doit être clairement défini (la résistance étant en série ou parallèle à la capacité électrique, par exemple).

La relation entre la **sensibilité en bout de câble** complexe et la **sensibilité en circuit ouvert en bout de câble** complexe dépendra de $\underline{Z}_h$, et $\underline{Z}_L$ et donné par

$$\underline{M}_L = \underline{M}_c \{ \underline{Z}_L / (\underline{Z}_h + \underline{Z}_L) \} \quad (3)$$

les modules étant donnés par

$$M_L = M_c \left\{ \frac{\text{Re}^2 \underline{Z}_L + \text{Im}^2 \underline{Z}_L}{[\text{Re} \underline{Z}_h + \text{Re} \underline{Z}_L]^2 + [\text{Im} \underline{Z}_h + \text{Im} \underline{Z}_L]^2} \right\}^{1/2} \quad (4)$$

où

M_L est la sensibilité en bout de câble;

M_c est la sensibilité en circuit ouvert en bout de câble;

"Re" et "Im" sont les parties réelle et imaginaire de la grandeur correspondante.

Les équations (3) et (4) peuvent être utilisées pour calculer les facteurs de correction si l'**impédance de charge électrique** réelle ne va pas dans le sens des conditions indiquées en rapport avec les valeurs de sensibilité données.

NOTE Les équations (3) et (4) s'appliquent à une considération liée au domaine fréquentiel. Dans les applications pratiques de l'**hydrophone** à impulsions ultrasonores, les considérations liées au domaine temporel (convolution et déconvolution temporelle) devraient être prises en compte.

5.8.2 ~~Hydrophone sans préamplificateur~~

Dans le cas d'un **hydrophone** sans préamplificateur, la sensibilité en **bout de câble** de l'**hydrophone** peut être la sensibilité en charge ou la sensibilité en circuit ouvert.

Si la sensibilité en bout de câble est indiquée comme la sensibilité en charge, les conditions de charge électrique correspondantes (l'**impédance de charge électrique** ou les composants réseau équivalents) auxquelles se rapportent les valeurs de sensibilité doivent être indiquées. Si l'**hydrophone** est utilisé dans des conditions de charge différentes, la sensibilité doit être corrigée conformément à l'équation (4).

Si la sensibilité en **bout de câble** est donnée comme la sensibilité en circuit ouvert, et si la sortie de l'**hydrophone** est connectée à une **impédance de charge électrique** finie, la sensibilité doit être corrigée conformément à l'équation (4).

5.8.35.8.2 Ensemble d'hydrophones

Dans le cas d'un **ensemble d'hydrophones**, la sensibilité en bout de câble doit être indiquée comme la sensibilité en charge, et les conditions de charge électrique correspondantes (l'**impédance de charge électrique** ou les composants réseau équivalents) auxquelles se rapportent les valeurs de sensibilité doivent être indiquées. Si l'**ensemble d'hydrophones** est utilisé dans des conditions de charge différentes, la sensibilité doit être corrigée ~~conformément à l'équation (4)~~.

5.8.45.8.3 Configuration des fils de sortie

La configuration de base des fils de sortie doit être expliquée, s'il s'agit, par exemple, d'une sortie différentielle (flottante) ou dissymétrique, c'est-à-dire une seule sortie et la masse.

5.9 Aspects liés à l'environnement

5.9.1 Plage de températures

La plage de températures de fonctionnement et de stockage admise de l'**hydrophone** ou de l'**ensemble d'hydrophones** doit être indiquée par le fabricant.

5.9.2 Etanchéité à l'eau

Les parties de l'**hydrophone** ou de l'**ensemble d'hydrophones** étanches et celles qui ne le sont pas doivent être indiquées. Les limitations, le cas échéant, quant à la durée d'immersion dans l'eau (dans la mesure du possible présentée en fonction de la température) doivent être indiquées.

5.9.3 Propriétés de l'eau et matériaux incompatibles

Les limitations, le cas échéant, quant à la conductibilité de l'eau doivent être indiquées. Les conditions de l'eau (la conductibilité ou la teneur en gaz, par exemple) auxquelles les déclarations quantitatives des propriétés de l'**hydrophone** font référence doivent être indiquées.

Les limitations quant aux matériaux incompatibles (les liquides et les solutés, par exemple) doivent être indiquées.

5.9.4 Matériau exposé

Les types de matériau (métal, caoutchouc, résine à couler, par exemple) exposés au liquide dans lequel l'**hydrophone** peut être utilisé doivent être précisés. Toutes les parties de l'**hydrophone** exposées doivent être composées de matériaux compatibles et résistant à la

corrosion. Plus particulièrement, il convient d'éviter l'utilisation d'une certaine variété de métaux pour les composants exposés afin d'éviter une éventuelle corrosion galvanique.

Les parties métalliques exposées du logement et du blindage électrostatique de l'**hydrophone** doivent être connectées à la retenue de tresse.

5.10 Manuel d'instructions

Un manuel d'instructions détaillé doit accompagner l'**hydrophone** ou l'**ensemble d'hydrophones**.

Outre les informations spécifiées de 5.2 à 5.9, il convient que le manuel contienne les informations suivantes:

- un schéma illustrant la forme géométrique et la taille de l'**hydrophone** ou de l'**ensemble d'hydrophones**;
- des instructions relatives à l'utilisation correcte et sûre de l'**hydrophone** ou de l'**ensemble d'hydrophones**, notamment la durée d'immersion, la plage de températures et la pression acoustique maximale;
- la représentation graphique de l'impédance habituelle et du gain de l'amplificateur (le cas échéant) en fonction de la fréquence.

5.11 Liste des caractéristiques de l'hydrophone

Les informations nécessaires relatives aux propriétés de l'**hydrophone** sont résumées ci-dessous:

- informations de base (matériau actif du point de vue acoustique, les dimensions géométriques et si un préamplificateur est présent ou pas);
- sensibilité de l'**hydrophone**;
- réponse en fréquence (de la sensibilité);
- **réponse directionnelle** et rayon efficace;
- plage dynamique et intervalle linéaire;
- impédance de sortie électrique et configuration des fils;
- aspects liés à l'environnement.

Annexe A (informative)

Exemples d'informations relatives aux propriétés de l'hydrophone

A.1 Généralités

La présente annexe donne des informations relatives à un **hydrophone** à aiguille de 0,2 mm conçu pour être utilisé avec un **préamplificateur d'hydrophone** submersible. Si les propriétés acoustiques de l'**hydrophone** sont indiquées, elles portent sur la combinaison **hydrophone/préamplificateur (ensemble d'hydrophones)**.

NOTE Les éléments de la présente annexe ont uniquement pour objet d'expliquer la manière de présenter les informations et ne sont pas une approbation d'un produit particulier.

A.2 Informations de base

Tableau A.1 – Exemple d'informations de base relatives à un ensemble d'hydrophones à aiguille de 0,2 mm

Informations caractéristiques requises	Exemple d'hydrophone à aiguille de 0,2 mm
Méthode de transduction	Conversion piézoélectrique
Matériau du capteur	Polyfluore de vinylidène (PVDF)
Dimensions géométriques de l'élément actif	Diamètre 0,2 mm, épaisseur 9 µm
Fréquence de la résonance d'épaisseur du film piézoélectrique	63 MHz
Sensibilité typique à 3 MHz	50 nV/Pa (données complémentaires en A.3)
Diamètre extérieur de la tige d'aiguille	0,5 mm
Poids de l' hydrophone	1,5 g
Longueur de l' hydrophone	Globale: 55 mm, tige d'aiguille: 35 mm
Préamplificateur	Hydrophone à utiliser avec un préamplificateur submersible à numéro de modèle générique NNNN
Impédance de sortie nominale	50 Ω
Orientation prévue lors de l'utilisation (direction nominale de l'incidence sonore)	Pointe de l'aiguille pointant directement vers la source sonore

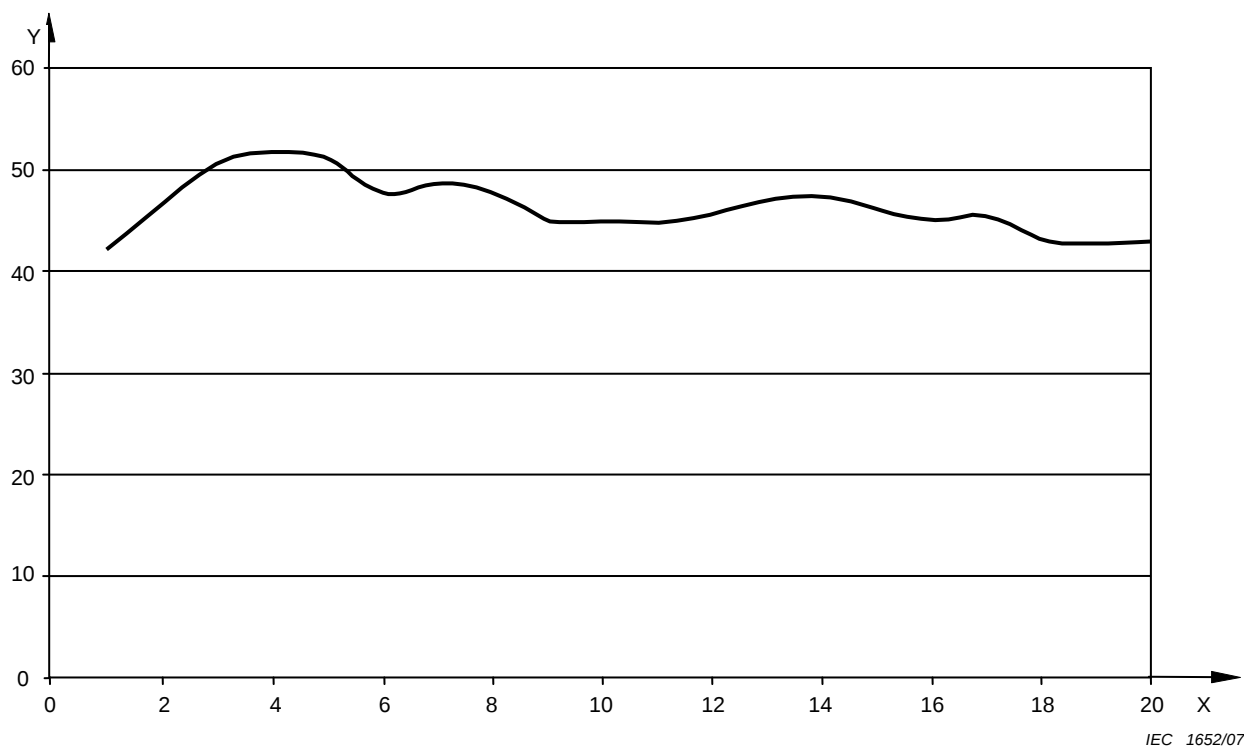
A.3 Sensibilité et réponse en fréquence

La Figure A.1 illustre la **sensibilité en bout de câble** de l'**hydrophone** à aiguille avec son préamplificateur approprié, chargé à 50 Ω.

Ce graphique de réponse en fréquence a été obtenu par étalonnage de substitution et se conforme à la méthode décrite par Smith et Bacon [4]. Il utilise une source à ultrasons qui a produit une onde fortement soumise aux chocs à large teneur en harmonique. L'étalonnage a utilisé une source sonore avec une fréquence fondamentale de 1 MHz. Cela a permis de fournir une onde source comportant un signal d'énergie ultrasonore significatif à multiples d'entier de la fréquence fondamentale et par conséquent l'étalonnage admis de l'**hydrophone** de 1 MHz à 20 MHz par incréments de 1 MHz. L'**hydrophone** a été étalonné à $(20 \pm 2) ^\circ\text{C}$.

NOTE 1 Le coefficient de température de la sensibilité est donné à l'Article A.8.

Il convient d'étalonner au moins une fois par an les **hydrophones** à aiguille permettant de réaliser des mesures absolues de la pression acoustique. Il convient de vérifier tous les mois l'**hydrophone** par rapport à une source de référence, de manière à identifier les variations de sensibilité plus tôt que dans le cas des étalonnages annuels.



Légende

X fréquence (MHz)

Y sensibilité (nV/Pa)

Figure A.1 – Réponse en fréquence de l'hydrophone à aiguille de 0,2 mm

Sensibilité de l'**hydrophone**: (47 ± 5) nV/Pa

Bande de fréquences de l'**hydrophone**: 1 MHz à 20 MHz

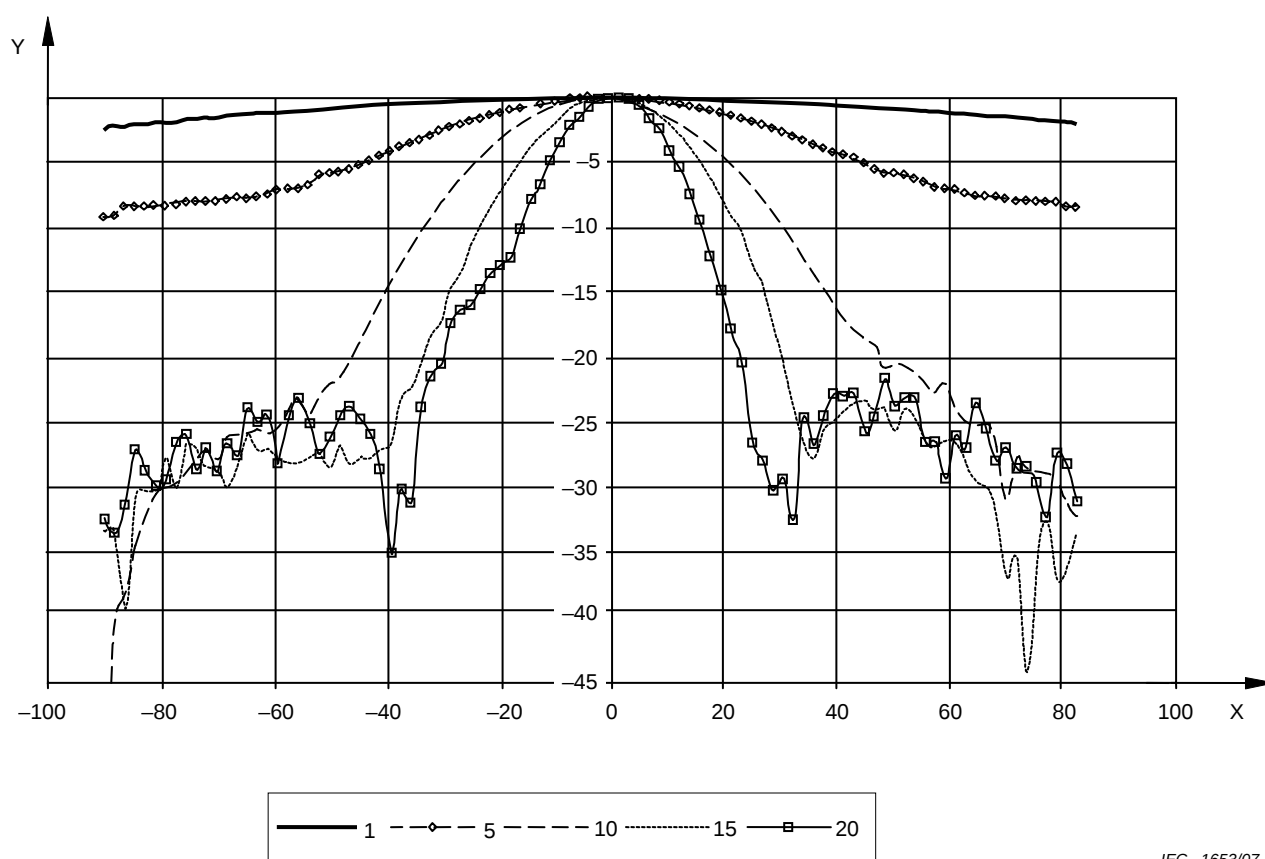
Incertitude de mesure 1 MHz à 8 MHz: 14 %, 9 MHz à 20 MHz: 18 %

L'**incertitude** de mesure de la réponse en fréquence a été déterminée conformément aux méthodes indiquées en [1]. L'une des principales contributions à l'**incertitude** est due à l'étalonnage de l'**hydrophone** de référence utilisé dans l'étalonnage, qui peut lui-même être identifié en fonction d'étalons primaires nationaux.

NOTE 2 Un document expliquant le comportement aux fréquences des **hydrophones** à aiguille est donné en [5].

A.4 Réponse directionnelle

La **réponse directionnelle** de l'**hydrophone** a été établie à l'aide du même champ non linéaire que celui utilisé pour déterminer la réponse en fréquence. L'**hydrophone** a été placé sur un dispositif de montage permettant de placer précisément l'élément actif à ajuster. Le bec de l'**hydrophone** a ensuite été réglé de sorte que le décalage temporel soit inférieur à 100 ns de l'onde enregistrée lorsqu'il a été pivoté dans le champ. Cet alignement a permis de s'assurer que l'**hydrophone** ne s'est pas déplacé lors de la rotation et, par conséquent, que toutes les variations du signal reçu étaient uniquement dues à la **réponse directionnelle** de l'**hydrophone**. En enregistrant l'onde générée par l'**hydrophone** en fonction de l'angle, la **réponse directionnelle** à une plage de fréquences a pu être établie. La **réponse directionnelle** de l'**hydrophone** à aiguille de 0,2 mm à 1 MHz, 5 MHz, 10 MHz, 15 MHz et 20 MHz a fait l'objet de la Figure A.2.



IEC 1653/07

X angle (degrés)

Y amplitude relative (dB)

Figure A.2 – Réponse directionnelle de l'hydrophone à aiguille de 0,2 mm

NOTE 1 La Figure A.2 illustre des courbes pour un seul des deux axes de rotation perpendiculaires couverts en 5.5.

NOTE 2 Les courbes de **réponse directionnelle** comprises entre 5 MHz et 20 MHz présentées à la Figure A.2 satisfont au critère de symétrie de 5.5.2. Il n'est pas possible de l'évaluer à 1 MHz étant donné que la courbe de **réponse directionnelle** n'atteint pas la limite de -6 dB. Voir le tableau sous le graphique pour identifier la fréquence.

NOTE 3 La valeur de fréquence de 5 MHz correspond à la moyenne géométrique de 1 MHz et 20 MHz à $\pm 15\%$, conformément au 5.5.1.

A.5 Rayon efficace

Le **rayon efficace** de l'**hydrophone** a été calculé à partir des angles auxquels les points –3 dB et –6 dB d'une courbe de **réponse directionnelle** conformément aux méthodes présentées en 5.6. Les **rayons efficaces** de l'**hydrophone** de 0,2 mm ont été déterminés à

0,131 mm à 5 MHz; 0,124 mm à 10 MHz; 0,114 mm à 15 MHz; 0,121 mm à 20 MHz.

NOTE 1 Il s'agit de la moyenne de a_{h3} et a_{h6} établie ici.

NOTE 2 Il n'est pas possible d'évaluer le **rayon efficace de l'hydrophone** à l'aide de la méthode spécifiée à 1 MHz étant donné que la courbe de **réponse directionnelle** n'atteint pas les limites –3 dB et –6 dB.

A.6 Gamme dynamique, linéarité et interférence électromagnétique

A.6.1 Limite dynamique inférieure

Le bruit de fond de l'**ensemble d'hydrophones** limite la mesure des petits signaux acoustiques. Le niveau de bruit du préamplificateur est d'environ 50 μ V eff sur une largeur de bande de 100 MHz. Si la sensibilité de l'**hydrophone** est supposée égale à 50 nV/Pa, le niveau de bruit indiqué se traduit par une pression acoustique équivalente de $50 \mu\text{V} / 50 \text{ nV/Pa} = 1 \text{ kPa}$.

NOTE Le système d'acquisition de données utilisé pour enregistrer les ondes produites par l'**hydrophone** peut également limiter le signal enregistrable minimal. Par exemple, un oscilloscope dont la résolution maximale est limitée à 0,5 mV sera uniquement en mesure d'afficher les signaux d'amplitude au moins égale à $0,5 \text{ mV} / 50 \text{ nV/Pa} = 10 \text{ kPa}$.

~~Pression acoustique équivalente = 1 kPa.~~

A.6.2 Limite dynamique supérieure

Concernant le seuil de pression au-dessus duquel l'**hydrophone** peut faire l'objet de dommages mécaniques: cet **hydrophone** a été conçu pour être utilisé dans des champs jusqu'à 20 MPa. Bien que ce type d'**hydrophone** ait été utilisé pour des champs ultrasonores supérieurs à 50 MPa, le risque de dommage est élevé. Il convient de prendre conseil auprès des fournisseurs si l'**hydrophone** doit être utilisé dans des champs dont les niveaux de pression acoustique sont supérieurs à 20 MPa.

Concernant la pression au-delà de laquelle le préamplificateur est saturé: le préamplificateur utilisé avec cet **hydrophone** peut commencer à produire des non-linéarités lorsque sa tension de sortie dépasse une crête de 2 000 mV. En tenant compte de la sensibilité typique de l'**hydrophone**, cela correspond à une pression de $2\,000 \text{ mV} / 50 \text{ nV/Pa} = 40 \text{ MPa}$. Si des champs de pression supérieurs à cette valeur doivent être obtenus, contacter le fournisseur de l'**hydrophone** pour connaître les options d'atténuation en ligne.

~~Seuil de linéarité = La plage linéaire est comprise entre 1 kPa et 40 MPa.~~

Seuil de dommage possible = 20 MPa.

A.7 Caractéristiques de la sortie électrique

~~Aucune donnée représentative n'est disponible, étant donné que cela n'a pas été déterminé pour l'hydrophone décrit ici. La condition de charge électrique à laquelle se rapportent les valeurs de sensibilité de A.3 est de 50 Ω .~~

A.8 Aspects liés à l'environnement

Cet **ensemble d'hydrophones** peut être utilisé pour réaliser une mesure sur une plage de températures de fonctionnement comprise entre 5 °C et 50 °C, et peut être stocké entre 5 °C et 50 °C. Toute exposition à des températures supérieures à 60 °C est susceptible d'endommager l'**hydrophone** de manière irréversible.

Cet **ensemble d'hydrophones** a été étalonné à une température comprise entre 19 °C et 25 °C. La sensibilité de l'**hydrophone** sera une fonction de la température, et il convient de prévoir une augmentation de la sensibilité de 0,6 % par degré d'élévation de température.

L'**ensemble d'hydrophones** a été conçu pour une immersion intégrale dans l'eau et pour résister aisément à la pression hydrostatique lorsqu'il est plongé dans 2 m d'eau. Bien que l'**ensemble d'hydrophones** puisse être utilisé pendant des périodes d'immersion prolongées (> 48 h), il convient de retirer l'**hydrophone** de l'eau et de le laisser sécher lorsqu'il n'est plus utilisé.

La qualité de l'eau permettant d'utiliser cet **hydrophone** ne fait pas l'objet d'exigences particulières. Toutefois, des normes relatives aux mesures de l'**hydrophone** (CEI 62127-1 ou AIUM/NEMA [6]) peuvent contenir des exigences particulières en la matière.

NOTE Une immersion prolongée dans l'eau non déminéralisée (l'eau du robinet, par exemple) peut être à l'origine de dépôts sur le bec de l'**hydrophone**. Des dépôts de carbonate de calcium peuvent être un problème particulier dans les zones à eau "dure" et peuvent se traduire par une perte de sensibilité de l'**hydrophone**.

Bien que conçu pour fonctionner dans l'eau, l'**ensemble d'hydrophones** peut être utilisé dans d'autres milieux liquides. Toutefois, il convient de noter que cet **hydrophone** a été étalonné dans l'eau. D'autres matériaux présentent différentes charges d'impédance acoustique sur l'élément actif de l'**hydrophone**. Cela est susceptible d'affecter la sensibilité de l'**hydrophone**. Il convient d'éviter l'utilisation de certains liquides en raison de leur nature agressive du point de vue chimique. Des exemples de matériaux qu'il convient d'éviter sont présentés ci-après:

- a) les acides concentrés (l'acide nitrique ou l'acide sulfurique, par exemple);
- b) les alcalis concentrés (l'hydroxyde de sodium, par exemple);
- c) les solvants organiques forts (la plupart des aldéhydes et des cétones, le ~~polyester renforcé à la fibre de verre~~ chlorure de diméthylène, diméthylformamide (DMF), par exemple).

Tels qu'ils sont fournis, les seuls matériaux de l'**ensemble d'hydrophones** exposés aux liquides ambiants sont l'or, l'acier inoxydable, le polytétrafluoroéthylène (PTFE), le laiton et le polychlorure de vinyle (PVC) enrobant le câble du préamplificateur. Toutefois, si l'électrode extérieure en or de l'**hydrophone** est endommagée, le polyfluore de vinylidène et une résine à couler rigide peuvent également être exposés.

Bibliographie

- [1] RADULESCU, EG., LEWIN, PA., NOWICKI, A. and BERGER, WA. Hydrophones' effective diameter measurements as a quasi-continuous function of frequency. *Ultrasonics*, 2003, vol. 41, iss. 8, p. 635-641.
- [2] ISO *Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure*. Genève, Suisse 1995.
- [3] FAY, B., LEWIN, PA., LUDWIG, G., SESSLER, GM. and YANG, G. The influence of spatial polarization distribution on spot poled PVDF membrane hydrophone performance. *Ultrasound Med. Biol.*, 1992, vol. 18, no. 6-7, p. 625-635.
- [4] SMITH, RA. and BACON, DR. A multiple-frequency hydrophone calibration technique. *J. Acoust. Soc. Am.*, 1990, vol. 87, p. 2231-2243.
- [5] FAY, B., LUDWIG, G., LANKJAER, C. and LEWIN, PA. Frequency response of PVDF needle-type hydrophones. *Ultrasound Med. Biol.* 1994, vol. 20, no. 4, p. 361-366.
- [6] AIUM/NEMA. *Acoustic output measurement standard for diagnostic ultrasound equipment*. (NEMA Standards Publication UD 2-2004, Revision 3). Laurel, MD: American Institute of Ultrasound in Medicine (AIUM); Rosslyn, VA: National Electrical Manufacturers Association (NEMA), 2004.

Autres publications

CEI 60050-801, *Vocabulaire électrotechnique international – Chapitre 801: Acoustique et électroacoustique*

CEI 60050-802, *Vocabulaire électrotechnique international – Chapitre 802: Ultrasons*

CEI 60565, *Acoustique sous-marine – Hydrophones – Etalonnage dans la bande de fréquences de 0,01 Hz à 1 MHz*

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

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