

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Measurement method for the output of electroshock weapons

Méthode de mesure de la sortie des pistolets à impulsion électrique



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2015 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester. If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 60 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 60 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 62792

Edition 1.0 2015-02

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Measurement method for the output of electroshock weapons

Méthode de mesure de la sortie des pistolets à impulsion électrique

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 17.220.20, 95.020

ISBN 978-2-8322-2222-5

**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.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Test measurement system.....	15
4.1 General.....	15
4.2 Instrumentation requirements.....	15
4.2.1 General	15
4.2.2 Minimum performance requirements	16
4.2.3 Measurement system traceability	16
4.2.4 System calibration	17
4.3 Environmental conditions	20
4.4 Electrostatic discharge (ESD)	20
4.5 Current waveform measurements.....	21
4.5.1 General	21
4.5.2 Measurement set-up	21
4.5.3 Current probe requirements	22
4.5.4 Waveform acquisition	22
4.6 Voltage waveform measurements	22
4.6.1 General	22
4.6.2 Measurement set-up	23
4.6.3 Voltage probe requirements.....	23
4.6.4 Waveform acquisition	24
5 Waveform <i>parameters</i>	24
5.1 General.....	24
5.2 Waveform parsing.....	24
5.3 Initial and final instants	24
5.4 Average level.....	25
5.5 Average absolute level.....	25
5.6 Charge, net.....	25
5.7 Charge, total.....	26
5.8 Energy, pulse.....	26
5.9 Impulse amplitude.....	26
5.10 Peak, maximum (minimum).....	26
5.11 Peak-to-peak value	26
5.12 Pulse duration.....	26
5.13 Pulse separation	27
5.14 Offset.....	27
5.15 Transition duration	27
5.16 Transition settling duration.....	27
5.17 Transition settling error	27
5.18 Waveform period.....	27
Bibliography.....	28

Figure 1 – Diagram of the ESW measurement system with voltage and current probes in place..... 15

Figure 2 – Set up for calibrating vertical channel of ESW measurement system 18

Figure 3 – Set up for calibration of the magnitude frequency response of the ESW measurement system 19

Figure 4 – Set up for calibration of time response of ESW measurement system 20

Table 1 – *Waveform recorder* minimum performance specifications 16

Table 2 – *Initial instants* and *final instants* for the *waveform* sub-epochs..... 25

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**MEASUREMENT METHOD FOR THE OUTPUT
OF ELECTROSHOCK WEAPONS**

FOREWORD

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

International Standard IEC 62792 has been prepared by IEC technical committee 85: Measuring equipment for electrical and electromagnetic quantities.

All terms defined in Clause 3 are italicized in this standard.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
85/490/FDIS	85/507/RVD

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

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

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site 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.

INTRODUCTION

Manufacturers, medical researchers, policy makers, users, and other interested parties involved with different aspects of electroshock weapons (ESWs) use a variety of different measurement methods, different terminologies, and different parameters to measure and describe the performance of an ESW. These differences generate confusion and misunderstanding within this stakeholder community, and this impacts the ability to perform accurate, reliable, and reproducible measurement comparisons. By developing a generally-accepted terminology, set of performance parameters, and test methods, this standard will facilitate accurate and precise communication for the parameters that describe the electrical output, current and high voltage, of ESWs. This improved communication will aid this stakeholder community in collectively developing uniform methods for describing the ESW output and its effect on human physiology consistently and accurately, thereby enabling the development of safe use performance standards/regulations by the appropriate standardization body.

MEASUREMENT METHOD FOR THE OUTPUT OF ELECTROSHOCK WEAPONS

1 Scope

This International Standard specifies a method for measuring the electrical outputs, current and voltage, from electroshock weapons (ESWs) that deliver an electrical stimulus to humans. This International Standard is applicable to any and all ESWs.

2 Normative references

The following documents, in whole or in part, are normatively referenced in this document and are indispensable for its application. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60469:2013, *Transitions, pulses and related waveforms – Terms, definitions and algorithms*

IEEE Std. 1057-2007, *IEEE Standard for digitizing waveform recorders*

BIPM, *The International System of Units (SI)*, 8th Edition, 2006

3 Terms and definitions

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

3.1

impulse amplitude

difference between the specified *level* corresponding to the *maximum peak (minimum peak)* of the positive (negative) *impulse-like waveform* and the *level* of the *state* preceding the first *transition* of that *impulse-like waveform*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.3.1]

3.2

correction

operation combining the results of the conversion operation with the transfer function information to yield a *waveform* that is a more accurate representation of the *signal*

Note 1 to entry: Correction may be effected by a manual process by an operator, a computational process, or a compensating device or apparatus. Correction must be performed to an accuracy that is consistent with the overall accuracy desired in the waveform measurement process.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.4, modified – Note 2 to entry has been deleted.]

3.3

effective number of bits

ENOB

for an input sinewave of specified frequency and amplitude, the number of bits of an ideal *waveform recorder* for which the root-mean-square (r.m.s.) quantization error is equal to the r.m.s. noise and distortion of the *waveform recorder* under test

[SOURCE: IEEE Std. 1057-2007, 3.1.29]

3.4 electroshock weapon ESW

weapon that generates a *high-voltage* transient electrical *signal* that is transmitted to a person

Note 1 to entry: The ESW comprises, at a minimum, a signal generator located in the body of the ESW and a pair of electrical contacts to make electrical connection between the generator and a person.

3.4.1 long-range wired ESW

ESW that uses propelled, tethered, skin-penetrating or adhering (for example, to clothing) barbed darts as the electrical contacts

Note 1 to entry: Adhering darts attach sufficiently close to the surface of the person to complete a circuit capable of delivering an electrical charge to that person. These barbed darts are tethered to the *ESW cartridge* that is mechanically attached to the body of the ESW and travel away from the cartridge when deployed. The *ESW cartridge* is often used to convert a contact ESW to a long-range wired ESW.

3.4.2 long-range wireless ESW

ESW that is compact in size and that is fired or launched from a separate and independent firearm, device, or apparatus and to which there is no physical connection between the *ESW* and the firearm, device, or apparatus after it is fired or launched

3.4.3 ESW contact

ESW that uses fixed metal electrodes located on the body or cartridge of the *ESW* as the electrical contacts

3.4.4 ESW cartridge

component of the *long-range wired ESW* that contains the tethered skin-penetrating or adhering barbed darts and mechanically attaches and electrically connects to the body of the *ESW* to complete the circuit and facilitate the delivery of electrical charge

Note 1 to entry: The *ESW cartridge* is often used to convert a *contact ESW* to a *long-range wired ESW*.

3.5 high voltage

voltage having a value above a conventionally adopted limit

Note 1 to entry: For *ESW*, this limit shall be specified by the user of this standard.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-15-05, modified – Note 1 to entry has been added.]

3.6 impulse response

time response of a linear time-invariant system, which initially is in steady state U_0 , V_0 , produced by application of an impulse function $\Delta u_{\delta}(t) = K_{\delta}\delta(t)$ to one of the input variables, where $\Delta v_{\delta}(t) = v(t) - V_0$ and $\Delta u_{\delta}(t) = u(t) - U_0$

3.7 instant

particular time value within a *waveform* epoch that, unless otherwise specified, is referenced to the *initial instant* of that *waveform epoch*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.13]

3.7.1**final instant**

last *sample instant* in the *waveform*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.13.1]

3.7.2**initial instant**

first *sample instant* in the *waveform*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.13.3]

3.8**interval**

set of all values of time between a first *instant* and a second *instant*, where the second *instant* is later in time than the first

Note 1 to entry: These first and second instants are called the endpoints of the interval. The endpoints, unless otherwise specified, are assumed to be part of the interval.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.15]

3.9**level**

constant value having the same units as y

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.17]

3.9.1**average level**

pertaining to the value of the mean of the *waveform level*

If the *waveform* takes on n discrete values, y_j , all equally spaced in time, that *average level* is,

$$\bar{y} = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^n y_j. \quad (1)$$

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.17.1, modified – The formula for the *average level* of a continuous function of time has been deleted and the notes have been deleted.]

3.9.2**average absolute level**

pertaining to the mean value of the absolute *waveform value*. If the *waveform* takes on n discrete values, y_j , all equally spaced in time, the *average absolute level* is,

$$|\bar{y}| = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^n |y_j|. \quad (2)$$

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.17.2, modified – The formula for the *average level* of a continuous function of time has been deleted and the notes have been deleted.]

3.10**measurand**

quantity intended to be measured

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.3, modified – The notes have been deleted.]

3.11

measured quantity value

measured value of a quantity

measured value

quantity value representing a measurement result

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.10, modified – The notes have been deleted.]

3.12

measurement trueness

trueness of measurement

trueness

closeness of agreement between the average of an infinite number of replicate measured quantity values and a reference quantity value

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.14, modified – The notes have been deleted.]

3.13

measurement uncertainty

uncertainty of measurement

uncertainty

non-negative parameter characterizing the dispersion of the quantity values being attributed to a *measurand*, based on the information used

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.26, modified – The notes have been deleted.]

3.14

metrological traceability

property of a measurement result whereby the result can be related to a reference through a documented unbroken chain of calibrations, each contributing to the *measurement uncertainty*

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.41, modified – The notes have been deleted.]

3.15

offset

algebraic difference between two specified *levels*

Note 1 to entry: Unless otherwise specified, the two levels are state 1 and the base state.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.18]

3.16

parameter

any value (number multiplied by a unit of measure) that can be calculated from a *waveform*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.20]

3.17

maximum peak (minimum)

pertaining to the greatest (least) value of the *waveform*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.21 and 3.2.22]

3.18**peak-to-peak**

pertaining to the value of the difference between the extrema of the specified *waveform*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.23]

3.19**pulse duration**

difference between the first and second *transition* occurrence *instants*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.27, modified – Note 1 to entry has been deleted.]

3.20**pulse separation**

duration between the 50 % reference *level instant*, unless otherwise specified, of the second *transition* of one pulse in a *pulse train* and that of the first *transition* of the immediately following pulse in the same *pulse train*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.28]

3.21**pulse train**

repetitive sequence of *pulse waveforms*

Note 1 to entry: Unless otherwise specified, all of the pulse waveforms in the sequence are assumed to be identical.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.29, modified – The figure has been deleted.]

3.22**reconstruction****waveform deconvolution**

process of removing the effect of the measurement instrument on the *acquired waveform*

Note 1 to entry: This process mathematically removes the estimated *impulse response* of the test instrument from the *acquired waveform*.

3.23**reference measurement procedure**

measurement procedure accepted as providing measurement results fit for their intended use in assessing measurement trueness of measured quantity values obtained from other measurement procedures for quantities of the same kind, in calibration, or in characterizing reference materials

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.7]

3.24**reference measurement system****reference system**

measurement system that is used to support a *reference measurement procedure*

3.25**sample**

element of a *sampled waveform*

3.26**signal**

physical phenomenon, one or more of whose characteristics may vary to represent information

Note 1 to entry: This phenomenon is a function of time.

[Source: IEC 60050-701:1988, 701-01-02, modified – the note to entry has been replaced.]

3.27

state

particular *level* or, when applicable, a particular *level* and upper and lower limits (the *upper* and *lower state boundaries*) that are referenced to or associated with that *level*

Note 1 to entry: Unless otherwise specified, multiple *states* are ordered from the most negative *level* to the most positive *level*, and the *state levels* are not allowed to overlap. The most negative *state* is called *state 1*. The most positive *state* is called *state n*. The *states* are denoted by s_1, s_2, \dots, s_n ; the *state levels* are denoted by $\text{level}(s_1), \text{level}(s_2), \dots, \text{level}(s_n)$; the upper state boundaries are denoted by $\text{upper}(s_1), \text{upper}(s_2), \dots, \text{upper}(s_n)$; and the lower *state boundaries* are denoted by $\text{lower}(s_1), \text{lower}(s_2), \dots, \text{lower}(s_n)$.

Note 2 to entry: *States, levels, and state boundaries* are defined to accommodate pulse metrology and digital applications. In pulse metrology, the *levels* of a *waveform* are measured and *states* (with or without associated *state boundaries*) are then associated with those *levels*. In digital applications, *states* are defined (with *state boundaries*) and the *waveform* values are determined to either lie within a *state* or not.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.40]

3.27.1

base state

state of a *waveform* that, unless otherwise specified, possesses a *level* closest to zero

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.40.1]

3.27.2

state boundaries

upper and lower limits of the *states* of a *waveform*.

Note 1 to entry: All values of a *waveform* that are within the boundaries of a given *state* are said to be in that *state*. The *state boundaries* are defined by the user.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.41]

3.27.3

state occurrence

contiguous region of a *waveform* that is bounded by the upper and lower *state boundaries* of a *state*, and whose duration equals or exceeds the specified minimum duration for *state* attainment

Note 1 to entry: The *state occurrence* consists of the entire portion of the *waveform* that remains within the boundaries of that *state*.

Note 2 to entry: *State occurrences* are numbered as ordered pairs (s,n) , where s_i refers to the i th *state*, and n is the number of the occurrence of that particular *state* within the *waveform epoch*. In a given *waveform epoch*, when the *waveform* first enters a *state* s_1 , that *state occurrence* is $(s_1, 1)$. If and when the *waveform* exits that *state*, that *state occurrence* is over. If and when the *waveform* next enters and remains in *state* s_1 , that *state occurrence* would be labeled $(s_1, 2)$; and so on.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.42]

3.28

timebase

component of a measurement instrument that provides the unique *instant* for each *sample* in a *sampled waveform*.

Note 1 to entry: The *timebase* provides a vector of sampling *instants* where each *instant* corresponds to a unique *sample* in the *waveform*.

Note 2 to entry: Often the *interval* between *sample instants* is not uniform and exhibits both systematic and random errors.

3.29**transient**

any contiguous region of a *waveform* that begins at one *state*, leaves and subsequently returns to that *state*, and contains no *state occurrences*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.46]

3.30**transition**

contiguous region of a *waveform* that connects, either directly or via intervening *transients*, two *state occurrences* that are consecutive in time but are occurrences of different *states*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.47]

3.31**transition duration**

difference between the two reference *level instants* of the same *transition*

Note 1 to entry: Unless otherwise specified, these two reference *levels* are the 10 % and 90 % reference *levels*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.48, modified – Note 2 to entry has been deleted.]

3.32**transition settling error**

maximum error between the *waveform* value and a specified reference *level* within a user-specified *interval* relative to the 50 % reference *level instant*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.50]

3.33**waveform**

representation of a *signal* (for example, a graph, plot, oscilloscope presentation, discrete time series, equations, or table of values)

Note 1 to entry: Note that the term *waveform* refers to a measured or otherwise-defined estimate of the physical phenomenon or *signal*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.54]

3.33.1**impulse-like waveform**

waveform that, when convolved with an ideal step, yields a step-like *waveform*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.54.2]

3.33.2**sampled waveform representation**

waveform that is a series of sampled numerical values taken sequentially or nonsequentially as a function of time

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.61.2]

3.33.3**acquired waveform**

sampled waveform that is the output of a measurement system before any *corrections* or *reconstructions* are applied

3.33.4

corrected waveform

sampled waveform that is the result of applying *corrections* to the *acquired waveform*

3.33.5

reconstructed waveform

sampled waveform that is the result of applying *waveform reconstruction* methods to the *corrected waveform*

3.34

waveform epoch

interval to which consideration of a *waveform* is restricted for a particular calculation, procedure, or discussion. Except when otherwise specified, the *waveform epoch* is assumed to be the span over which the *waveform* is measured or defined

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.57]

3.35

waveform period

minimum duration after which a periodic *waveform* repeats

Note 1 to entry: The period of a repetitive two-state *waveform* is the duration between specified reference *level instants* for the same *transition*, either the negative-going *transition* or the positive-going *transition*, of two consecutive pulses in a *pulse train*. The period is equal to the sum of the *pulse separation* and the *pulse duration*.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.60]

3.36

waveform measurement process

realization of a method of waveform measurement in terms of specific devices, apparatus, instruments, auxiliary equipment, conditions, operators, and observers

Note 1 to entry: In this process, a value (a number multiplied by a unit) of measurement is assigned to the elements of the *waveform*.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.59]

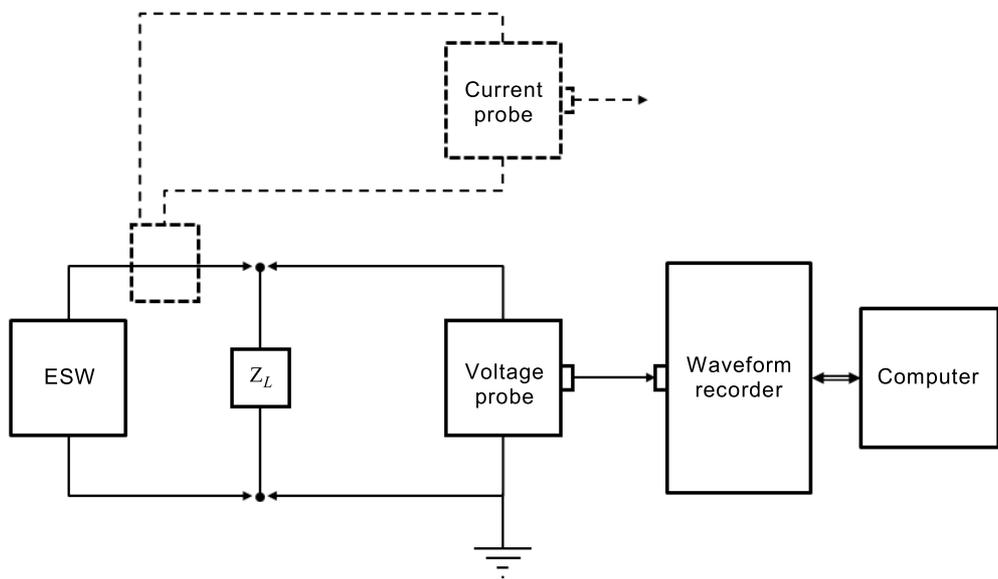
3.37

waveform recorder

instrument or device for acquiring and subsequently storing a sequence of data corresponding to the *signal* being measured

4 Test measurement system

4.1 General



IEC

Z_L is the load impedance of the ESW.

Figure 1 – Diagram of the ESW measurement system with voltage and current probes in place

ESWs generate a variety of different electrical *signals*. Often these *signals* have a long duration, exceeding 10 s, and thus require the *waveform recorders* to be capable of acquiring long *waveform epochs*. Furthermore, the *transients* in these *signals* may have durations less than 10 ns, requiring a sampling *interval* of about 5 ns (*sample rate* to 2×10^8 samples/s) to accurately capture the high-frequency content of the *signal*. Without a priori knowledge regarding the effect of this low-frequency and high-frequency *signal* content on the ability of ESW to perform its function, *waveforms* of the ESW *signals* are captured in such a way as to simultaneously preserve the fidelity of the low-frequency and high-frequency content of the *signal*. The *waveform measurement processes* and corresponding instrumentation described in this standard support the acquisition of these high-fidelity *waveforms*. These *waveforms* can be subsequently analyzed to extract the desired *waveform parameters* (Clause 5). Figure 1 provides a depiction of a generalized measurement system that can be used to measure the output of an ESW. Details of the measurement system are given in 4.4 and 4.5.

Install in the ESW new or fully charged batteries of the type specified by the manufacturer of the ESW. All measurements shall be made before approximately 10 % of the charged energy of the battery has been depleted. If the ESW is taken out of field operation for post-deployment testing and/or performance verification, the ESW shall be tested as received without changing the battery unless otherwise indicated by the user of the standard.

4.2 Instrumentation requirements

4.2.1 General

The instrumentation requirements described in this 4.2 are those intended for laboratory measurement conditions and not for emulating the effect of varying external conditions. Such requirements would be the subject of a performance requirement or standard for the ESW.

4.2.2 Minimum performance requirements

The minimum performance specifications for the instrumentation required to acquire *ESW waveforms* are given here and listed in Table 1. For the *waveform recorder*, three sets of performance specifications are provided. The *waveform recorder* shall be capable of simultaneously demonstrating all the minimum performance specifications listed in this table. One set reflects the minimum requirements for a *reference measurement system*, another for a secondary system that shall be traceable to the *reference system*, and a third that shall be traceable to a secondary or *reference system*. It is the responsibility of the user of the secondary or tertiary system to demonstrate *metrological traceability* to the *reference system*.

Table 1 – Waveform recorder minimum performance specifications

Parameter	Reference system	Secondary system	Tertiary system
Analog bandwidth (MHz)	≥ 500	≥ 100	User defined ^a
Sampling rate (samples/s)	≥ 1 × 10 ⁹	≥ 2 × 10 ⁸	User defined ^a
Epoch, min (s)	≥ 10	≥ 2	User defined ^a
Signal-to-noise ratio (SNR) (dB) [IEEE Std. 1057-2007, 8.3]	≥ 40	≥ 30	≥ 30
Signal-to-noise-and-distortion ratio (SINAD) (dB) [IEEE Std. 1057-2007, 8.2]	≥ 40	≥ 30	≥ 30
Spurious-free dynamic range (SFDR) (dB) [IEEE Std. 1057-2007, 8.8]	≥ 50	≥ 40	≥ 40
Effective number of bits (ENOB) (bits) [IEEE Std. 1057-2007, 8.5]	≥ 7	≥ 6	≥ 6
Input impedance: matched to probe impedance, given by Z_{probe}	$Z_{probe} \pm 0,02 Z_{probe}$	$Z_{probe} \pm 0,05 Z_{probe}$	$Z_{probe} \pm 0,05 Z_{probe}$
Input impedance: not matched to Z_{probe}	≥ 10 Z_{probe}	≥ 10 Z_{probe}	≥ 10 Z_{probe}
^a The tertiary system allows the user of the standard to define performance specifications for certain <i>parameters</i> , where these user-defined specifications are based on the user's documented interpretation and knowledge of the operation of <i>ESW</i> and expected response to exposure to <i>ESW</i> output. The user of the tertiary system shall demonstrate <i>metrological traceability</i> to the secondary system.			

The following list describes the minimum performance requirements for the connectors, cables, and electrical loads used to test the *ESW*:

- Cables/connectors
 - Characteristic impedance: $50 \Omega \pm 2 \Omega$
 - Analog bandwidth: $> 1 \text{ GHz}$
- Electrical loads
 - Resistance:
 - $300 \Omega \pm 3 \Omega$
 - $600 \Omega \pm 6 \Omega$
 - $1\ 000 \Omega \pm 10 \Omega$
 - Inductance: $< 0,01 L_{ESW}$ or 20 nH, whichever is greater, where L_{ESW} is the self-inductance of the wire connecting the barbs and body of a long-range wired *ESW*

4.2.3 Measurement system traceability

4.2.3.1 General

ESW measurement system traceability, by application of the definition of *metrological traceability*, allows the measurement results of lower-performing measurement systems to be

traceable to the measurement results of an *ESW reference measurement system* through a documented unbroken chain of calibrations, where each part of this chain contributes to the *measurement uncertainty* for a *measurand* (the *waveform parameter*). Often this chain of calibrations can be achieved with a properly selected artifact or transfer standard. The results of the measurement of the artifact by the *ESW reference measurement system* yield the calibration of the artifact. This calibration can be of the *ESW output waveform* or any of the *parameters* describing the *waveform*.

The performance characteristics of three different measurement systems are described in this standard (see Table 1): a *reference system*, a secondary system, and a tertiary system. The performance characteristics of the *reference system* are selected to allow acquisition of *waveforms* that represent the *signals* provided by the *ESW* with the greatest fidelity. The *reference system* is suitable for metrology laboratories that support third-party laboratory accreditation processes and provide guidance and recommendation on the measurement of the output of the *ESW*. The secondary measurement system exhibits relaxed performance specifications relative to that of the *reference measurement system*. The tertiary measurement system is one in which the performance specifications are defined by the user of the standard.

The user shall provide *metrological traceability* from their secondary measurement system to the *reference measurement system* or from their tertiary measurement system to a secondary or *reference measurement system*. *Metrological traceability* for the secondary and tertiary systems can be achieved through artifact (transfer) standards. These transfer standards are, for example, depicted as the calibrated instruments in the figures. Calibration of these instruments shall be performed by an accredited testing laboratory.

4.2.3.2 Limitations

There are currently no methods for measuring the phase spectrum of a *waveform recorder* or a measurement system comprising a *waveform recorder* nor are there any suitable phase references. Consequently, the phase spectrum is computed from the frequency transform of the step response of the measurement system. *Metrological traceability* for the phase spectrum or step response will be limited by the availability of suitable pulse generators to act as transfer standards and, if available, the *uncertainty* in the phase spectrum of the generator's output.

The user of the standard may wish to establish *metrological traceability* between measurement systems by considering the *waveform recorder* and probes separately. In this case, the *waveform recorder* can be calibrated using commonly-available pulse generators and the probes using appropriate high voltage sources. However, if the *transient* response of the probes shall be measured, which is the likely case, the measurement system should be calibrated as a whole. In this case, a suitable high-voltage pulse generator shall be used to establish *metrological traceability*.

For *metrological traceability* between the secondary and tertiary systems, there are commercially-available high-voltage pulse generators that can be used as a transfer standard. However, at the time of the writing of this standard, there are no commercially-available pulse generators that output high-voltage, repetitive, fast-transient, step-like-pulses that can act as a transfer standard to establish *metrological traceability* between the secondary and reference measurement systems or to act as a check standard for the reference system. Consequently, the user of the standard shall develop an appropriate high-voltage fast-transient pulse generator transfer standard. The user of the standard shall also provide the *metrological traceability* of the pulse generator output to a national metrology institute.

4.2.4 System calibration

4.2.4.1 General

Calibration of the instruments is performed to ensure accuracy, repeatability, and reproducibility of measurement results. Reproducibility is essential for accurate interlaboratory

measurement comparisons of a given *ESW*, for comparisons between different *ESW*s, and to observe changes in the performance of a given unit over time. The measurement system includes the *waveform recorder*, the electrical probes, and any cabling and connectors required to connect the probe to the *waveform recorder*.

4.2.4.2 Vertical channel calibration

4.2.4.2.1 General

The vertical channel of the measurement system can be calibrated using either frequency or time domain methods. Using static input levels for calibration of the input channels of the measurement system is not recommended as this method may not accurately measure the performance of the measurement system because of its frequency-dependent response.

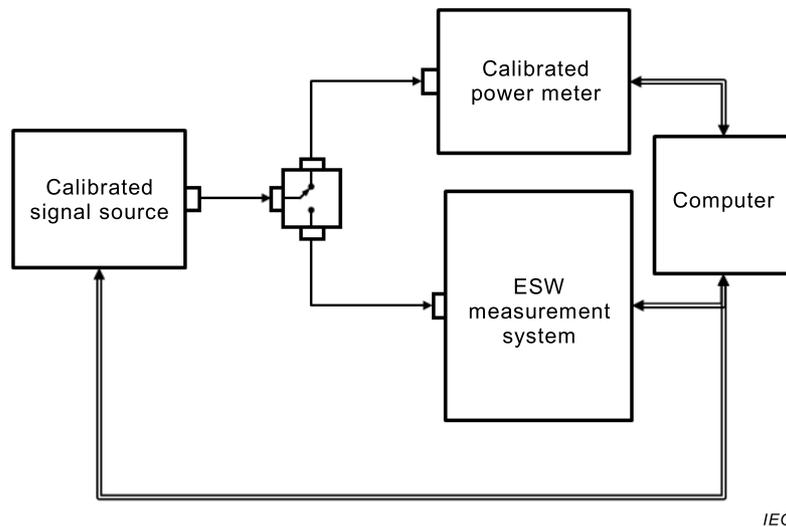


Figure 2 – Set up for calibrating vertical channel of ESW measurement system

The vertical channel is typically calibrated by measuring its *impulse response* or transfer function. The transfer function is the frequency transform of the impulse response and, therefore, contains magnitude and phase (or, equivalently, real and imaginary) components. Frequency-domain methods are used to obtain the magnitude component of the measurement system transfer function and time-domain methods are used to obtain the *impulse response*.

Swept frequency methods provide only the magnitude-vs-frequency response of the measurement system. This is because, at the present time, there are no swept frequency methods to measure the phase-vs-frequency response of a measurement system. Time-domain methods, through time-frequency transforms (such as the Fourier transform), can provide both magnitude and phase information for the response of the measurement system. Because time-domain methods use pulse *signals*, the spectral density of the time-domain methods is much lower than that of swept-frequency methods. This means that, for the magnitude response of the measurement system, swept-frequency methods are more accurate and provide better signal-to-noise ratios than do time-domain methods. Although most of the data desired on an *ESW* or any pulse generator are its time-domain *parameters*, often *waveform* processing and analysis can be more expeditiously and accurately performed using the frequency-domain information. Accordingly, both time- and frequency-domain methods are briefly described.

A depiction of the general layout for calibration of the vertical channels of the measurement system is shown in Figure 2. The method used for the calibration of the *ESW* measurement system vertical channel(s) shall be adequately described and documented so that the method, including the set up, can be accurately replicated by others. This description and documentation shall include the manufacturer and model of all instruments and components,

the calibration documentation for each instrument, the appropriate settings for all instruments, the appropriate settings of the measurement system being calibrated, environmental conditions, a layout of the measurement system, and the source code for any algorithms used to compute the vertical channel calibration *parameters*.

4.2.4.2.2 Frequency response

The frequency response of the measurement instrument is measured using a frequency source and diode power meters, as shown in Figure 3. The power meter is the reference for this measurement and, therefore, shall be calibrated with this calibration traceable to a national metrology institute.

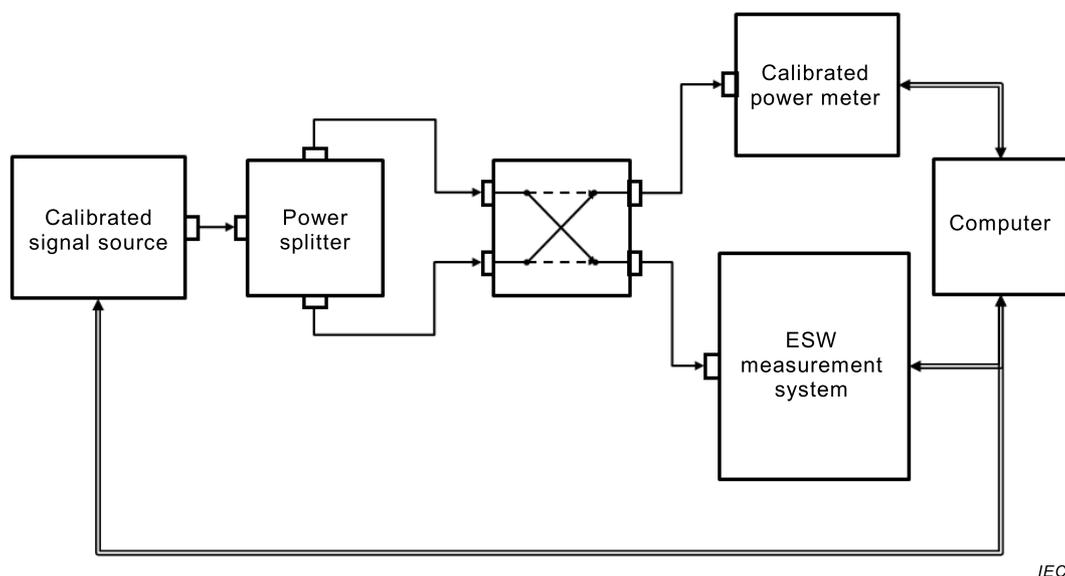


Figure 3 – Set up for calibration of the magnitude frequency response of the ESW measurement system

This method requires two nominally identical measurements because of the non-ideal performance of the power splitter (see Figure 3). In this method, the output of the source is stepped through the user-defined frequency range using the user-defined frequency steps. The interval of the frequency steps may be uniform or not. Waveforms are acquired from the waveform recorder for each frequency and analyzed to provide *peak-to-peak* amplitude and average power. Concurrently, the output from the power meter provides a measure of the average power. Because the power splitter (see Figure 3) may not be ideally balanced, the connections of the measurement instrument and power meter to the power splitter are swapped and the measurement repeated. The results for these two sets of measurements are averaged. Using the power meter as a reference, the magnitude response of the measurement system is estimated.

The magnitude response of the measurement system is not sufficient to construct the time response of the measurement system; the phase response is also required.

4.2.4.2.3 Time response

Time-domain methods, as mentioned earlier, can provide the time response and, through a time-to-frequency transform, both the magnitude and phase components of the frequency response of the measurement system. A typical set-up for measuring the time response of a measurement instrument is shown in Figure 4. The output of the pulse generator is taken as the reference and, therefore, shall be calibrated with the calibration traceable to a national metrology institute.

To perform this method, the pulse output from the pulse generator is acquired by the measurement system. Using this output pulse as a reference, the impulse response of the measurement system is estimated.

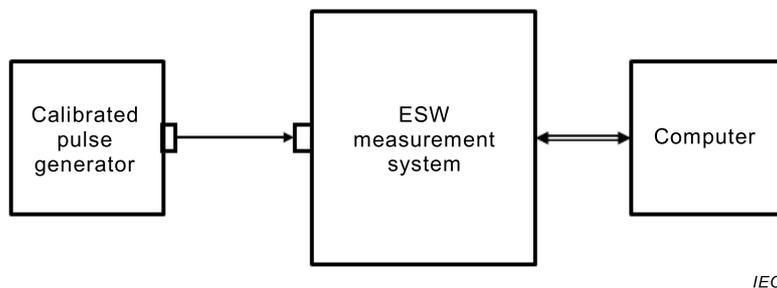


Figure 4 – Set up for calibration of time response of ESW measurement system

4.2.4.3 Timebase calibration

The timebase of the measurement system can be performed using sinewave techniques, where sinewaves of known frequencies are used, or a time-mark generator (or equivalent), where the delay between sequential pulses is known. Both methods are currently in use at the writing of this standard. The method used for the calibration of the *ESW* measurement system timebase shall be adequately described and documented so that the method, including the set up, can be accurately replicated by a user of the standard. This description and documentation shall include the manufacturer and model of all instruments and components, the calibration documentation for each instrument, the appropriate settings for all instruments, the appropriate settings of the measurement system being calibrated, environmental conditions, a layout of the measurement system, and the source code for any algorithms used to compute the timebase calibration parameters.

4.2.4.4 Resistors

The direct current resistance of the resistors shall be measured and these resistance values used in any subsequent calculations of the *waveform parameters*. The method used for the calibration of the resistors shall be adequately described and documented so that the method, including the set-up, can be accurately replicated by others. This description and documentation shall include the manufacturer and model of all instruments and components, the calibration documentation for each instrument, the appropriate settings for all instruments, environmental conditions, a layout of the measurement system, and the source code for any algorithms used to compute the resistance value and the user of the standard shall provide this information upon request.

4.3 Environmental conditions

The temperature during the time of the measurement shall be $21\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ for the *reference measurement system* and $21\text{ °C} \pm 4\text{ °C}$ for the secondary and tertiary measurement systems. The relative humidity shall be $40\% \pm 10\%$ for the *reference measurement system* and $40\% \pm 20\%$ for the secondary and tertiary measurement systems. Temperature and relative humidity shall be recorded at least once immediately prior to the start of the *ESW waveform measurement processes* and at least once immediately following its completion.

4.4 Electrostatic discharge (ESD)

All test instrumentation shall be placed on an anti-static surface having a connector attached to earth ground and the ground to surface resistance shall be $> 10^6\ \Omega$. The *ESW* under test and any high voltage conductors shall be placed on a high voltage protective surface.

4.5 Current waveform measurements

4.5.1 General

The acquisition of the *waveforms* representing the electrical current output from the *ESW* are described in 4.5. A general and typical measurement set-up is described. The set-up described herein shall be used unless another is defined by the user of the standard.

The amplitude of the current discharged from an *ESW* as a function of time is an important *parameter* that allows that calculation of the total electrical charge delivered to the load. The current shall be converted to a voltage using a current-to-voltage transducer for a *waveform recorder* to acquire the time evolution of the current through the load. This conversion may be accomplished with a known resistive shunt or current sense resistor, a current transformer, a Hall-effect device, or other appropriate technology. A current probe will incorporate one or more of these current-to-voltage transducers. Each transducer technology has advantages and disadvantages. A sample of the most widely used transducer technologies is briefly described herein.

A broadband current sense resistor is used by placing it in series with resistors of much greater resistance values and with one conductor of the *ESW*. For example, the current sense configuration is achieved in a simplest form with three resistors in series, giving a total resistance of R_{load} with the current sense resistor placed between the other two resistors. The other two resistors have nominally the same resistance and are selected so that the resistance, R_{cs} , of the current sense resistor provides a voltage drop not to exceed the input range of the *waveform recorder*. The voltage drop across R_{cs} is then measured using a *waveform recorder*. A current transformer can be clamped onto one of the *ESW* conductors or one of the *ESW* conductors can pass through a hole in the transformer. The clamp type transformer may exhibit a lower bandwidth than one in which the conductor is passed through it. Current transformers or Hall-effect devices are not connected to the conductor of the *ESW* and are, therefore, electrically isolated from it.

Since *ESWs* are typically battery operated, their high voltage output is floating with respect to the chassis ground of the *waveform recorder* and care shall be taken to ensure this situation is maintained when using a current sense resistor. Parasitic capacitance between the *ESW* being tested and measurement system table may introduce errors in the measurement results. To reduce the effect of this capacitance on the measurement and to avoid accidental shorting of the *ESW* to ground, the *ESW* can be placed on an insulated non-conductive platform where the platform separation to earth ground is at least 1,5 times the minimum electrode spacing (*ESW* or load resistor) (see IEEE Std. 4-1995), unless a larger value is specified by the user of this standard.

4.5.2 Measurement set-up

The measurement set-up is shown in Figure 1. The *waveform recorder* and other test instrumentation should be placed on top of a ESD surface. Connections to the load resistor should be made as short as possible to avoid inductive ringing and other deleterious parasitic effects on the *waveform*. Depending on the design of the *ESW* being tested, an appropriately dimensioned and located spark gap shall be incorporated into the *ESW* test fixture. The *ESW* under test and all high-voltage conductors should rest on top of a high voltage protective surface. The user of the standard shall electrically isolate the tethers and darts of a *long-range wired ESW* from each other to ensure that no arcing occurs between them during measurement.

Prior to starting a measurement, ensure all instrumentation is operational and functioning properly by exercising them with known *signals*. Verify the computer can control the *waveform recorder* and other instrumentation and acquire the required data.

The users of the standard will use test equipment they have identified as necessary and appropriate for measuring the current output from an *ESW*. Consequently, it is beyond the

scope of this standard to attempt to provide details on any of these set-ups. Instead, the users of the standard shall document their measurement set-up.

4.5.3 Current probe requirements

The *waveform recorder* requires an input voltage as the *signal* to measure. Therefore, to measure the *ESW* output current, this output current shall be converted to a voltage for measurement by the *waveform recorder*. This current-to-voltage conversion is obtained by an appropriate current-to-voltage transducer, which is a component of the current probe.

The current probe should have a bandwidth that allows capture of the *waveform* representing the *ESW* current output with sufficient accuracy and fidelity. The current-to-voltage conversion ratio of the transducer is often approximately 1:1 and, consequently, the voltage level of the output is low enough to be directly connected to the *waveform recorder* input. If this is not the case, the user of the standard shall use an attenuator to reduce the voltage level of the input *signal* to a value appropriate for the *waveform recorder*.

If the *ESW* is a contact type (*contact ESW*), it has electrodes that are used to make physical contact with the person for delivering the high-voltage signal. For this reason, a *contact ESW* will not have a conductor that can pass through the hole of, or be clamped onto by, a broadband current probe. Consequently, a special load and current sensing fixture for a *contact ESW* shall be designed and constructed by the user of the standard to allow the electrodes to connect to a load resistor and to measure voltage and current, and this design shall be made available upon request. This special load and current sensing fixture for a *contact ESW* shall provide an electrical connection between the electrodes and the load resistor, the electrical connections shall provide appropriate connection to the current probe, and a means to measure the voltage across the load resistor. For both the *contact ESW* and *long-range wired ESW*, the voltage output from the current probe is measured using a *waveform recorder* and the current is computed from the current-to-voltage conversion factor of the probe.

The following are characteristics required for a current probe used in the *ESW* measurement system (see Table 1).

- Current-voltage ratio: appropriate for *ESW* output and input range of *waveform recorder*
- Output impedance: $Z_{WR} \pm 0,05 Z_{WR}$ for matching to a *waveform recorder* with a nominal input impedance, Z_{WR} , of 50 Ω
< 0,1 Z_{WR} , otherwise
- Analog bandwidth: ≥ 200 MHz, reference system
 ≥ 100 MHz, secondary system
 \geq user defined, tertiary system

4.5.4 Waveform acquisition

The user of the standard shall define a step-by-step *waveform* acquisition procedure and document that procedure per ISO/IEC 17025.

4.6 Voltage waveform measurements

4.6.1 General

The acquisition of the *waveforms* representing the high-voltage output from the *ESW* is described in 4.6. A general and typical measurement set-up is described. The set-up and measurement procedure described herein should be used unless another is defined by the user of the standard.

The amplitude of the high-voltage output from an *ESW* is measured as a function of time using a resistive voltage divider, capacitive voltage divider, or another voltage probe that reduces the amplitude of the high-voltage output of the *ESW* to a level that is appropriate for input into the *waveform recorder*. The separation between electrodes, the air gap, in the handle portion of the *ESW*, through the electrical breakdown of the air in this gap, dictates the maximum high-voltage value that can be expected from a given *ESW*. For *ESWs*, measurement of this high-voltage limit can be accommodated by a high-voltage-to-low-voltage conversion ratio of about 1000:1.

4.6.2 Measurement set-up

The measurement set-up is shown in Figure 1. The *waveform recorder* and other test instrumentation should be placed on top of an ESD surface. Connections to the load resistor should be made as short as possible to avoid inductive ringing and other deleterious parasitic effects on the waveform. Depending on the design of the *ESW* being tested, an appropriately dimensioned and located spark gap shall be incorporated into the *ESW* test fixture. The *ESW* under test and all high-voltage conductors should rest on top of a high voltage protective surface. The user of the standard shall electrically isolate the tethers and darts of a *long-range wired ESW* from each other to ensure that no arcing occurs between them during measurement.

Prior to starting a measurement, ensure all instrumentation is operational and functioning properly by exercising them with known signals. Verify the computer can control the *waveform recorder* and other instrumentation and acquire the required data.

The user of the standard will use test equipment they have identified as necessary and appropriate for measuring the current output from an *ESW*. Consequently, it is beyond the scope of this standard to attempt to provide details on any of these set-ups. Instead, the user of the standard shall document their measurement set-up.

4.6.3 Voltage probe requirements

The *waveform recorder* requires a low (typically in the range of -10 V to 10 V) input voltage as the *signal* to measure. Therefore, to measure the *ESW high-voltage* output, this output *high-voltage* shall be converted to a voltage suitable for measurement by the *waveform recorder*. This *high-voltage-to-low-voltage* conversion is obtained by an appropriate transducer, which is a component of the *high-voltage* probe.

The *high-voltage* probe should have a bandwidth that allows capture of the *waveform* representing the *ESW high-voltage* output with sufficient accuracy and fidelity. The *high-voltage-to-low-voltage* conversion ratio of the transducer is often in the range of 1 000:1 or greater, consequently, the voltage level of the output is low enough to be directly connected to the *waveform recorder* input. If this is not the case, the user of the standard shall use an attenuator to reduce the voltage level of the input *signal* to a value appropriate for the *waveform recorder*. The probe input impedance is typically in the 100 M Ω range and is in parallel with a small capacitance in the 10 pF range. Its output may be designed to be connected to a 50 Ω or 1 M Ω load.

The following are characteristics required for a *high-voltage* probe used in the *ESW* measurement system (see Table 1).

- Current-voltage ratio: Appropriate for *ESW* output and input range of the *waveform recorder*
- Output impedance: $Z_{WR} \pm 0,05 Z_{WR}$ for matching to a *waveform recorder* with a nominal input impedance, Z_{WR} , of 50 Ω
 $< 0,1 Z_{WR}$, otherwise
- Analog bandwidth: ≥ 100 MHz, *reference system*
 ≥ 50 MHz, *secondary system*

≥user defined, tertiary system

4.6.4 Waveform acquisition

The user of the standard shall define a step-by-step *waveform* acquisition procedure and document that procedure.

5 Waveform parameters

5.1 General

The current and *high-voltage waveforms* can be analyzed independently. Each of the *parameters* listed below can be applied to either the current or *high-voltage waveforms*. The user of the standard, when recording and reporting values for these *parameters*, shall use SI units or accepted non-SI units, per the BIPM's International System of Units (SI). *Measurement uncertainty* and the methods for computing this *measurement uncertainty* for the *parameters* listed in 3.2 through 3.14 shall be provided by the user of the standard.

The user of the standard should use *waveforms* that provide the highest fidelity replica of the electrical current and *high-voltage signals* output by the ESW. How accurate these *waveforms* are to the actual ESW output defines the accuracy of the value of the *parameters* listed below. For example, the *acquired waveforms* are not necessarily a high fidelity representation of the ESW output *signal* for several reasons, such as but not limited to, finite *impulse response* of the *waveform recorder* and probes, nonlinear amplitude response of the probes, and *timebase* errors of the *waveform recorder*. To improve the accuracy of this representation, the user of the standard has options. For example, the *reference measurement system* is designed, based on 2013 and earlier-model ESW devices, to provide performance characteristics that are at least ten times better than that needed to measure the ESW output. In this case, the measurement system can be approximated as ideal and the *acquired waveforms* can be considered an accurate replica of the ESW outputs. However, it still may be useful to remove the effect of the measurement instrument, using *waveform reconstruction* techniques, and to correct for other linear errors. In this case, the *corrected waveform* and *reconstructed waveform* should provide the most accurate representation of the ESW output. For the secondary and tertiary systems, *waveform reconstruction* will likely be necessary to provide an accurate representation of the ESW output *signal*. However, there is a limit to which the effect of the measurement system on the *acquired waveform* can be removed.

The values of the *samples* in the current *waveform* will be dependent on the resistance into which the ESW is terminated.

5.2 Waveform parsing

The electrical output of the ESW may be described as a *pulse train* of limited duration. In this case, the *waveform epoch* shall be parsed according to IEC 60469:2013, 5.5, or as otherwise specified by the user of the standard, to yield a number, N , of *waveform sub-epochs*, where each *waveform sub-epoch* contains one *pulse waveform*, and N is the number of *pulse waveforms* in the limited-duration *pulse train*. The computation or determination of the values of the *parameters* listed in Clause 5 shall be computed for each of the N *waveform sub-epochs* unless otherwise specified by the user.

5.3 Initial and final instants

After parsing (5.2), the user of the standard will have a set of N unique *initial instants* and N unique *final instants*, one each for each of the N *waveform sub-epochs*. These *initial instants* shall be labeled $t_{0,i}$ and the *final instants* shall be labeled $t_{f,i}$, where $i = 1, \dots, N$, and these values recorded. An example of how this can be reported is shown in Table 2.

Table 2 – Initial instants and final instants for the waveform sub-epochs

Waveform sub-epoch (index)	Initial instant (s)	Final instant (s)
1	$t_{0,1}$	$t_{f,1}$
2	$t_{0,2}$	$t_{f,2}$
..
..
$N-1$	$t_{0,N-1}$	$t_{f,N-1}$
N	$t_{0,N}$	$t_{f,N}$

5.4 Average level

The value of the *average level*, \overline{y}_i , for the *waveform* in each *i*th *waveform sub-epoch* shall be computed using the following formula unless otherwise specified by the user of the standard:

$$\overline{y}_i = \left(\frac{1}{M_i} \right) \sum_{j=1}^{M_i} y_j, \quad (3)$$

where

i is the index for the *waveform sub-epochs*, $i = 1, \dots, N$,

M_i is the number of samples in each *waveform sub-epoch*.

If the user of the standard uses different start and stop indices for the summation than is shown herein, the user shall specify the start and stop indices.

5.5 Average absolute level

The value of the *average absolute level*, $|\overline{y}_i|$, for the *waveform* in each *i*th *waveform sub-epoch* shall be computed using the following formula unless otherwise specified by the user of the standard:

$$|\overline{y}_i| = \left(\frac{1}{M_i} \right) \sum_{j=1}^{M_i} |y_j| \quad (4)$$

where

i is the index for the *waveform sub-epochs*, $i = 1, \dots, N$,

M_i is the number of samples in each *waveform sub-epoch*.

If the user of the standard uses different start and stop indices for the summation than is shown herein, the user shall specify the start and stop indices.

5.6 Charge, net

The net charge, Q_{net} , delivered to the electrical load into which the *ESW* is terminated, can be computed using:

$$Q_{net,i} = \overline{y}_i T_i, \quad (5)$$

where

T_i is the *duration* of the *waveform sub-epoch* (see IEC 60469:2013, 5.1.4) unless otherwise specified by the user of the standard.

5.7 Charge, total

The total charge, Q_{tot} , delivered to the electrical load into which the *ESW* is terminated, can be computed using:

$$Q_{tot,i} = \overline{|y_i|} T_i, \quad (6)$$

where

T_i is the *duration* of the *waveform sub-epoch* (see IEC 60469:2013, 5.1.4) unless otherwise specified by the user of the standard.

5.8 Energy, pulse

The pulse energy, E_p , delivered to the electrical load into which the *ESW* is terminated, can be computed using:

$$E_{p,i} = T_i \sum_{j=0}^{N-1} |V_i[f_j] I_i[f_j]|, \quad (7)$$

where

j is the discrete time index $j = 0, \dots, N - 1$,

$V_i[f]$ is the discrete Fourier transform of the voltage *waveform* for the *interval* T_i ,

$I_i[f]$ is the discrete Fourier transform of the current *waveform* for the *interval* T_i .

5.9 Impulse amplitude

The value of *impulse amplitude* for the *waveform* in each *ith waveform sub-epoch* shall be computed according to IEC 60469:2013, 5.6.1, unless otherwise specified by the user of the standard.

5.10 Peak, maximum (minimum)

The value of *maximum (minimum) peak* (s_{max} , s_{min}) for the *waveform* in each *ith waveform sub-epoch* shall be determined according to IEC 60469:2013, 5.2.4.1, unless otherwise specified by the user of the standard.

5.11 Peak-to-peak value

The *peak-to-peak* value, s_{p-p} , for the *waveform* in each *ith waveform sub-epoch* shall be computed using the following formula unless otherwise specified by the user of the standard:

$$s_{p-p} = s_{max} - s_{min} \quad (8)$$

where

s_{max} is the *maximum peak* of the *waveform*,

s_{min} is the *minimum peak* of the *waveform*.

5.12 Pulse duration

The value of *pulse duration* for the *waveform* in each *ith waveform sub-epoch* shall be computed according to IEC 60469:2013, 5.4.2, unless otherwise specified by the user of the standard.

5.13 Pulse separation

The value of *pulse separation* for the *waveform* in each *ith waveform sub-epoch* shall be computed according to IEC 60469:2013, 5.4.4, unless otherwise specified by the user of the standard.

5.14 Offset

The value, s_{off} , of *offset* for the *waveform* in each *ith waveform sub-epoch* shall be computed using the following formula unless otherwise specified by the user of the standard:

$$s_{off} = \text{level}(s_1) - \text{level}(s_0), \quad (9)$$

where

s_0 refers to the *base state* for the *waveform* in each *waveform sub-epoch*,

s_1 is a user specified *state* of the same *waveform*.

5.15 Transition duration

The value of *transition* for the *waveform* in each *ith waveform sub-epoch* shall be computed according to IEC 60469:2013, 5.3.5, unless otherwise specified by the user of the standard.

5.16 Transition settling duration

The value of *transition settling duration* for the *waveform* in each *ith waveform sub-epoch* shall be computed according to IEC 60469:2013, 5.3.8, unless otherwise specified by the user of the standard.

5.17 Transition settling error

The value of *transition settling error* for the *waveform* in each *ith waveform sub-epoch* shall be computed according to IEC 60469:2013, 5.3.9 unless otherwise specified by the user of the standard.

5.18 Waveform period

The value, T_i , of *waveform period* for the *waveform* in each *ith waveform sub-epoch* shall be computed using, unless otherwise specified by the user of the standard, the following formula:

$$T_i = t_{f,i} - t_{0,i}, \quad (10)$$

where

$t_{0,i}$ and $t_{f,i}$ are given in Table 2.

Bibliography

IEC 60050 (all parts): *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <http://www.electropedia.org>)

IEC 60359, *Electrical and electronic measurement equipment – Expression of performance*

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM: 1995)*

IEEE Std. 4-1995, *IEEE Standard techniques for high-voltage testing*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	32
INTRODUCTION.....	34
1 Domaine d'application	35
2 Références normatives	35
3 Termes et définitions	35
4 Système de mesure d'essai	43
4.1 Généralités	43
4.2 Exigences en matière d'instrumentation	43
4.2.1 Généralités	43
4.2.2 Exigences de performances minimales	44
4.2.3 Traçabilité du système de mesure	45
4.2.4 Étalonnage du système	46
4.3 Conditions d'environnement	49
4.4 Décharge électrostatique (DES).....	49
4.5 Mesurages de formes d'onde du courant.....	49
4.5.1 Généralités	49
4.5.2 Configuration de mesure.....	50
4.5.3 Exigences de la sonde de courant	50
4.5.4 Acquisition de forme d'onde.....	51
4.6 Mesurages de forme d'onde de la tension	51
4.6.1 Généralités	51
4.6.2 Configuration de mesure.....	51
4.6.3 Exigences de la sonde de tension.....	52
4.6.4 Acquisition de la forme d'onde	52
5 Paramètres de la forme d'onde	52
5.1 Généralités	52
5.2 Décomposition d'une forme d'onde	53
5.3 Instants initiaux et finaux	53
5.4 Niveau moyen	53
5.5 Niveau moyen absolu.....	54
5.6 Charge nette	54
5.7 Charge totale	54
5.8 Énergie d'impulsion	54
5.9 Amplitude d'impulsion	55
5.10 Crête maximale (minimale)	55
5.11 Valeur de crête à crête.....	55
5.12 Durée d'impulsion	55
5.13 Intervalle entre impulsions	55
5.14 Polarisation.....	55
5.15 Durée de transition	56
5.16 Durée d'établissement de la transition	56
5.17 Erreur d'établissement de la transition	56
5.18 Période de forme d'onde	56
Bibliographie.....	57

Figure 1 – Diagramme du système de mesure ESW avec sondes de tension et de courant en place	43
Figure 2 – Configuration pour l'étalonnage du canal vertical du système de mesure ESW	46
Figure 3 – Configuration pour l'étalonnage de la réponse amplitude-fréquence du système de mesure <i>ESW</i>	47
Figure 4 – Configuration pour l'étalonnage de la réponse temporelle du système de mesure ESW	48
Tableau 1 – Spécifications de performances minimales de <i>l'enregistreur de forme d'onde</i>	44
Tableau 2 – <i>Instants initiaux et instants finaux</i> pour les sous-époques de forme d'onde	53

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

MÉTHODE DE MESURE DE LA SORTIE DES PISTOLETS À IMPULSION ÉLECTRIQUE

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 62792 a été établie par le comité d'études 85 de l'IEC: Équipement de mesure des grandeurs électriques et électromagnétiques.

Tous les termes définis à l'Article 3 sont en caractères italiques dans la présente norme.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
85/490/FDIS	85/507/RVD

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

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

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

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

INTRODUCTION

Les fabricants, les chercheurs dans le domaine médical, les décideurs, les utilisateurs et autres parties intéressées impliqués dans les différents aspects des pistolets à impulsion électrique (ESW)¹ appliquent de nombreuses et différentes méthodes de mesure et terminologies, et utilisent différents paramètres pour mesurer et décrire les performances d'un ESW. Ces différences sont source de confusion et de mauvaise interprétation au sein de cette communauté de parties prenantes et ceci pénalise la réalisation de comparaisons de mesure exactes, fiables et reproductibles. Grâce à l'élaboration d'une terminologie commune, d'un ensemble de paramètres de performances admis et de méthodes d'essai acceptées, la présente norme facilite une communication précise et claire quant aux paramètres qui décrivent la puissance électrique de sortie, le courant et la haute tension des pistolets à impulsion électrique (ESW). Cette communication renforcée permettra à cette communauté de parties prenantes de développer en commun des méthodes uniformes de description de la puissance de sortie des ESW et de son incidence en termes de physiologie humaine et ce de manière cohérente et exacte. De ce fait, ceci permettra aussi à l'organisme de normalisation compétent de développer des normes/réglementations de performances en toute sécurité.

¹ ESW: Electric Shock Weapon en anglais, arme à impulsion électrique en français

MÉTHODE DE MESURE DE LA SORTIE DES PISTOLETS À IMPULSION ÉLECTRIQUE

1 Domaine d'application

La présente Norme internationale spécifie une méthode de mesure des puissances électriques de sortie, du courant et de la tension des pistolets à impulsion électrique (ESW)² qui envoient une décharge électrique aux humains. La présente Norme internationale s'applique à tous les ESW.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

IEC 60469:2013, *Transitions, impulsions et formes d'ondes associées – Termes, définitions et algorithmes*

IEEE Std. 1057-2007, *IEEE Standard for digitizing waveform recorders*

BIPM, *Le Système international d'unités*, 8ème édition, 2006

3 Termes et définitions

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

3.1

amplitude d'impulsion

différence entre le *niveau* spécifié, correspondant à la *crête maximale* (*crête minimale*) de la *forme d'onde de type impulsion* positive (négative) et le *niveau* de l'état qui précède la première *transition* de cette *forme d'onde de type impulsion*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.3.1]

3.2

correction

opération qui combine les résultats de l'opération de conversion avec les informations de la fonction de transfert afin de produire une *forme d'onde* qui représente le *signal* avec plus d'exactitude

Note 1 à l'article: La correction peut être effectuée manuellement par un opérateur, via un procédé de calcul ou par un appareil compensateur. La correction doit être effectuée avec une exactitude en rapport avec l'exactitude globale souhaitée dans le procédé de mesure de forme d'onde.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.4, modifié – La note 2 à l'article a été supprimée.]

² ESW: Electric Shock Weapon en anglais, arme à impulsion électrique en français

3.3

nombre de bits effectifs

ENOB

pour une onde sinusoïdale d'entrée de fréquence et d'amplitude définies, correspond au nombre de bits d'un *enregistreur de forme d'onde* idéal pour lequel l'erreur de quantification du niveau efficace (r.m.s.) est égale au bruit et à la distorsion du niveau efficace de l'*enregistreur de forme d'onde* à l'essai

Note 1 à l'article: L'abréviation "ENOB" est dérivée du terme anglais développé correspondant "effective number of bits".

[SOURCE: IEEE Std. 1057-2007, 3.1.29]

3.4

pistolet à impulsion électrique

ESW

pistolet qui génère un *signal* électrique transitoire à *haute tension* transmis à une personne

Note 1 à l'article: L'ESW comprend, au minimum, un générateur de signal situé dans le boîtier du pistolet ainsi qu'une paire de contacts électriques permettant la connexion électrique entre le générateur et une personne.

Note 2 à l'article: L'abréviation "ESW" est dérivée du terme anglais développé correspondant "electroshock weapon".

3.4.1

ESW câblé longue portée

ESW qui utilise des flèches barbelées propulsées et attachées à pénétration cutanée ou adhérentes (par exemple, pour les vêtements) en tant que contacts électriques

Note 1 à l'article: Les flèches adhérentes s'accrochent suffisamment près du corps de la personne de manière à réaliser un circuit capable d'envoyer une décharge électrique à la personne. Ces flèches barbelées sont attachées à la *cartouche ESW*, elle-même attachée mécaniquement au boîtier de l'ESW, et se séparent de la cartouche lorsqu'elles se déploient. La *cartouche ESW* est souvent utilisée pour convertir un ESW de contact en ESW câblé longue portée.

3.4.2

ESW non câblé longue portée

ESW de taille réduite qui est tiré ou lancé depuis une arme à feu, un dispositif ou un appareil distinct et indépendant, et pour lequel il n'existe aucune connexion physique entre l'*ESW* et l'arme à feu, le dispositif ou l'appareil une fois qu'il a été tiré ou lancé

3.4.3

contact ESW

ESW qui utilise des électrodes métalliques fixes situées sur le boîtier ou la cartouche de l'*ESW* en tant que contacts électriques

3.4.4

cartouche ESW

composant de l'*ESW câblé longue portée* qui contient les flèches barbelées attachées adhérentes ou à pénétration cutanée qui est mécaniquement attaché et électriquement connecté au boîtier de l'*ESW* pour fermer le circuit et faciliter l'envoi de la décharge électrique

Note 1 à l'article: La *cartouche ESW* est souvent utilisée pour convertir un *ESW de contact* en *ESW câblé longue portée*.

3.5

haute tension

tension électrique de valeur supérieure à une limite adoptée par convention

Note 1 à l'article: Pour l'*ESW*, cette limite doit être spécifiée par l'utilisateur de la présente norme.

[SOURCE: IEC 60050-151:2001, 151-15-05, modifié – La note 1 à l'article a été ajoutée.]

3.6**réponse impulsionnelle**

réponse temporelle d'un système linéaire invariant dans le temps, qui est initialement en régime établi U_0 , V_0 , produite par l'application d'une fonction impulsion $\Delta u_{\delta}(t) = K_{\delta}\delta(t)$ à l'une des variables d'entrée, où $\Delta v_{\delta}(t) = v(t) - V_0$ et $\Delta u_{\delta}(t) = u(t) - U_0$

3.7**instant**

valeur de temps particulière située dans une époque de *forme d'onde* et, sauf spécification contraire, référencée par rapport à *l'instant initial* de cette époque de *forme d'onde*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.13]

3.7.1**instant final**

dernier *instant d'échantillon de la forme d'onde*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.13.1]

3.7.2**instant initial**

premier *instant d'échantillon de la forme d'onde*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.13.3]

3.8**intervalle**

ensemble de valeurs de temps comprises entre un premier *instant* et un deuxième *instant*, le deuxième *instant* étant ultérieur au premier

Note 1 à l'article: Les premier et deuxième instants sont appelés points limites de l'intervalle. Sauf spécification contraire, on suppose que les points limites font partie de l'intervalle.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.15]

3.9**niveau**

constante exprimée dans la même unité que y

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.17]

3.9.1**niveau moyen**

moyenne du *niveau de forme d'onde*

Si la *forme d'onde* prend n valeurs discrètes, y_j , toutes régulièrement espacées dans le temps, le *niveau moyen* est,

$$\bar{y} = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^n y_j . \quad (1)$$

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.17.1, modifié – La formule applicable au *niveau moyen* d'une fonction de temps continue ainsi que les notes ont été supprimées.]

3.9.2**niveau moyen absolu**

moyenne des valeurs absolues de la *forme d'onde*. Si la *forme d'onde* prend n valeurs discrètes, y_j , toutes régulièrement espacées dans le temps, le *niveau moyen absolu* est,

$$|\bar{y}| = \left(\frac{1}{n} \right) \sum_{j=1}^n |y_j|. \quad (2)$$

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.17.2, modifié – La formule applicable au *niveau moyen* d'une fonction de temps continue ainsi que les notes ont été supprimées.]

3.10 mesurande

grandeur que l'on veut mesurer

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.3, modifié – Les notes ont été supprimées.]

3.11 valeur mesurée

valeur d'une grandeur représentant un résultat de mesure

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.10, modifié – Les notes ont été supprimées.]

3.12 justesse de mesure

justesse

étroitesse de l'accord entre la moyenne d'un nombre infini de valeurs mesurées répétées et une valeur de référence

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.14, modifié – Les notes ont été supprimées.]

3.13 incertitude de mesure

incertitude

paramètre non négatif qui caractérise la dispersion des valeurs attribuées à un mesurande, à partir des informations utilisées

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.26, modifié – Les notes ont été supprimées.]

3.14 traçabilité métrologique

propriété d'un résultat de mesure selon laquelle ce résultat peut être relié à une référence par l'intermédiaire d'une chaîne ininterrompue et documentée d'étalonnages dont chacun contribue à l'*incertitude de mesure*

[SOURCE: ISO/IEC Guide 99:2007, 2.41, modifié – Les notes ont été supprimées.]

3.15 polarisation

différence algébrique entre deux *niveaux* spécifiés

Note 1 à l'article: Sauf spécification contraire, les deux niveaux sont l'état 1 et l'état de base.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.18]

3.16 paramètre

toute valeur (nombre multiplié par une unité de mesure) pouvant être calculée à partir d'une *forme d'onde*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.20]

3.17**crête maximale (minimale)**

plus haute (plus basse) valeur de la *forme d'onde*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.21 et 3.2.22]

3.18**crête à crête**

relatif à la valeur de la différence entre les extrema de la *forme d'onde* spécifiée

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.23]

3.19**durée d'impulsion**

différence entre le premier et le deuxième *instant* d'occurrence de *transition*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.27, modifié – La Note 1 à l'article a été supprimée.]

3.20**intervalle entre impulsions**

durée entre *l'instant de niveau* de référence 50 %, sauf spécification contraire, de la deuxième *transition* d'une impulsion d'un *train d'impulsions* et celui de la première *transition* de l'impulsion immédiatement suivante du même *train d'impulsions*

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.28]

3.21**train d'impulsions**

séquence répétitive de *formes d'onde à impulsion*

Note 1 à l'article: Sauf spécification contraire, on suppose que toutes les formes d'onde à impulsion de la séquence sont identiques.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.29, modifié – La figure a été supprimée.]

3.22**reconstitution****déconvolution de forme d'onde**

processus consistant à supprimer l'effet de l'instrument de mesure sur la *forme d'onde acquise*

Note 1 à l'article: Ce processus supprime mathématiquement de la *forme d'onde acquise* la *réponse impulsionnelle* estimée de l'instrument d'essai.

3.23**procédure de mesure de référence**

procédure de mesure considérée comme fournissant des résultats de mesure adaptés à leur usage prévu pour l'évaluation de la justesse de valeurs mesurées obtenues à partir d'autres procédures de mesure pour des grandeurs de la même nature, pour un étalonnage ou pour la caractérisation de matériaux de référence

[SOURCE: ISO/IEC, Guide 99:2007, 2.7]

3.24**système de mesure de référence****système de référence**

système de mesure utilisé pour prendre en charge une *procédure de mesure de référence*

3.25**échantillon**

élément d'une *forme d'onde* à *échantillonnage*

3.26**signal**

phénomène physique dont une ou plusieurs caractéristiques sont susceptibles de varier en représentant des informations

Note 1 à l'article: Ce phénomène est une fonction de temps.

[SOURCE: IEC 60050-701:1988, 701-01-02, modifié – La note à l'article a été remplacée.]

3.27**état**

niveau particulier ou, le cas échéant, *niveau* particulier et limites supérieure et inférieure (*limites d'état supérieure et inférieure*) faisant référence ou associées à ce *niveau*

Note 1 à l'article: Sauf spécification contraire, les *états*, lorsqu'il y en a plusieurs, sont classés du *niveau* le plus négatif au *niveau* le plus positif et les chevauchements de *niveaux d'état* sont interdits. L'*état* le plus négatif est appelé *état* 1. L'*état* le plus positif est appelé *état* n. Les *états* sont désignés par s1, s2, ..., sn; les *niveaux d'état* sont désignés par level(s1), level(s2), ..., level(sn); les limites d'état supérieures sont désignées par upper(s1), upper(s2), ..., upper(sn); et les *limites d'état* inférieures sont désignées par lower(s1), lower(s2), ..., lower(sn).

Note 2 à l'article: Les *états*, *niveaux* et *limites d'état* sont définis pour tenir compte des applications numériques et de la métrologie des impulsions. En métrologie des impulsions, on mesure les *niveaux* d'une *forme d'onde*, puis on leur associe des *états* (avec ou sans *limites d'état* associées). Dans les applications numériques, on définit des *états* (avec des *limites d'état*) et l'on détermine si les valeurs de *forme d'onde* se trouvent ou non dans un *état*.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.40]

3.27.1**état de base**

état d'une *forme d'onde* qui, sauf spécification contraire, possède le *niveau* le plus proche de zéro

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.40.1]

3.27.2**limites d'état**

limites supérieures et inférieures des *états* d'une *forme d'onde*.

Note 1 à l'article: Toutes les valeurs d'une *forme d'onde* qui se trouvent entre les limites d'un *état* donné sont décrites comme étant dans cet *état*. Les *limites d'état* sont définies par l'utilisateur.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.41]

3.27.3**occurrence d'état**

zone contiguë d'une *forme d'onde* qui est délimitée par les *limites d'état* supérieure et inférieure d'un *état*, dont la durée est supérieure ou égale à la durée minimale spécifiée pour l'obtention de l'*état*

Note 1 à l'article: L'*occurrence d'état* est constituée de toute la partie de la *forme d'onde* qui reste dans les limites de l'*état*.

Note 2 à l'article: Les *occurrences d'état* sont numérotées à l'aide de couples (s,n), où s désigne le ième *état* et n est le numéro de l'*occurrence* de l'*état* en question dans l'*époque de forme d'onde*. Dans une *époque de forme d'onde* donnée, lorsque la *forme d'onde* passe pour la première fois à l'*état* s1, l'*occurrence d'état* correspondante est notée (s1, 1). Lorsque la *forme d'onde* quitte cet *état*, le cas échéant, l'*occurrence d'état* prend fin. Lorsque la *forme d'onde* repasse et reste à l'*état* s1, le cas échéant, la nouvelle *occurrence d'état* est désignée (s1, 2), etc.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.42]

3.28**base de temps**

composant d'un instrument de mesure qui fournit l'*instant* unique de chaque *échantillon* dans une *forme d'onde à échantillonnage*

Note 1 à l'article: La *base de temps* fournit un vecteur d'*instants d'échantillonnage* dans lequel chaque *instant* correspond à un *échantillon* unique dans la *forme d'onde*.

Note 2 à l'article: Il est fréquent que l'*intervalle* entre les *instants d'échantillon* ne soit pas uniforme et présente des erreurs systématiques et aléatoires.

3.29**transitoire**

zone contiguë d'une *forme d'onde* qui commence dans un *état*, le quitte, puis qui y revient et qui ne contient aucune *occurrence d'état*

[SOURCE: IEC 60469:2013,3.2.46]

3.30**transition**

zone contiguë d'une *forme d'onde* qui relie, directement ou par le biais de *transitoires* intermédiaires, deux *occurrences d'état* qui se suivent dans le temps, mais qui correspondent à des *états* différents

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.47]

3.31**durée de transition**

différence entre les deux *instants de niveau* de référence de la même *transition*

Note 1 à l'article: Sauf spécification contraire, ces deux *niveaux* de référence pris en compte sont les *niveaux* de référence 10 % et 90 %

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.48, modifié – La Note 2 à l'article a été supprimée.]

3.32**erreur d'établissement de la transition**

erreur maximale entre la valeur de la *forme d'onde* et un *niveau* de référence spécifié dans un *intervalle* spécifié par l'utilisateur relatif à l'*instant de niveau* de référence de 50 %

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.50]

3.33**forme d'onde**

représentation d'un *signal* (par exemple, graphique, tracé, représentation oscilloscopique, série chronologique à temps discret, équations ou tableau de valeurs)

Note 1 à l'article: Il est à noter que le terme *forme d'onde* désigne une estimation, mesurée ou définie par une autre méthode, du phénomène ou *signal* physique.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.54]

3.33.1**forme d'onde de type impulsion**

forme d'onde qui, convolutionnée avec une fonction unité idéale, donne une *forme d'onde* échelonnée

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.54.2]

3.33.2**représentation de forme d'onde à échantillonnage**

forme d'onde constituée d'une série de valeurs numériques d'échantillons prélevés de manière séquentielle ou non séquentielle en fonction du temps

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.61.2]

3.33.3**forme d'onde acquise**

forme d'onde à échantillonnage émanant d'un système de mesure avant que des *corrections* ou *reconstitutions* ne soient appliquées

3.33.4**forme d'onde corrigée**

forme d'onde à échantillonnage résultant de l'application de *corrections* au niveau de la *forme d'onde acquise*

3.33.5**forme d'onde reconstituée**

forme d'onde à échantillonnage résultant de l'application de méthodes de *reconstitution* au niveau de la *forme d'onde corrigée*

3.34**époque de forme d'onde**

intervalle auquel la prise en considération d'une *forme d'onde* est limitée pour les besoins d'un calcul, d'une étude ou d'un procédé particuliers. Sauf spécification contraire, on suppose que *l'époque de forme d'onde* est la plage dans laquelle la *forme d'onde* est mesurée ou définie

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.57]

3.35**période de forme d'onde**

durée minimale après laquelle une *forme d'onde* périodique se répète

Note 1 à l'article: La période d'une *forme d'onde* répétitive à deux états est la durée entre les *instants de niveau* de référence spécifiés d'une même *transition* – la *transition* négative ou la *transition* positive – de deux impulsions consécutives dans un *train d'impulsions*. La période est égale à la somme de *l'intervalle entre impulsions* et de la *durée d'impulsion*.

[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.60]

3.36**procédé de mesure de forme d'onde**

réalisation d'une méthode de mesure de forme d'onde en termes de dispositifs, d'appareils, d'instruments, d'équipement auxiliaire, de conditions, d'opérateurs et d'observateurs spécifiques

Note 1 à l'article: Dans ce procédé, une valeur (nombre multiplié par une unité) de mesure est attribuée aux éléments de la *forme d'onde*.

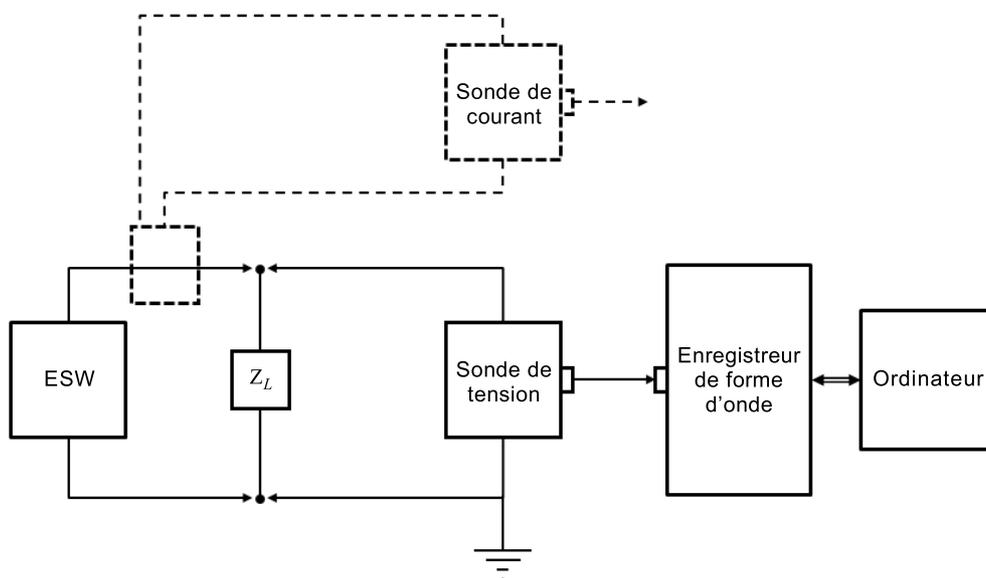
[SOURCE: IEC 60469:2013, 3.2.59]

3.37**enregistreur de forme d'onde**

instrument ou dispositif permettant d'acquérir puis de stocker une séquence de données correspondant au *signal* en cours de mesure

4 Système de mesure d'essai

4.1 Généralités



IEC

Z_L correspond à l'impédance de la charge de l'ESW

Figure 1 – Diagramme du système de mesure ESW avec sondes de tension et de courant en place

Les ESW génèrent une variété de *signaux* électriques différents. Souvent, ces *signaux* ont une longue durée, dépassant 10 s, et nécessitent donc des *enregistreurs de forme d'onde* capables d'acquérir de longues *époques de forme d'onde*. En outre, les *transitoires* dans ces *signaux* peuvent avoir une durée inférieure à 10 ns, nécessitant un *intervalle* d'échantillonnage d'environ 5 ns (débit d'*échantillons* de 2×10^8 échantillons/s) pour capturer le contenu haute fréquence du *signal* avec précision. Sans connaissance préalable sur l'effet du contenu de *signal* basse fréquence et haute fréquence sur la capacité de l'ESW à réaliser sa fonction, les *formes d'onde* des *signaux* ESW sont capturées de manière à préserver simultanément le contenu basse fréquence et haute fréquence du *signal* avec précision. Les *procédés de mesure de forme d'onde* et l'instrumentation associée décrits dans la présente norme prennent en charge l'acquisition de ces *formes d'onde* hautement fidèles. Ces *formes d'onde* peuvent être ensuite analysées afin d'extraire les *paramètres de forme d'onde* souhaités (Article 5). La Figure 1 représente un système de mesure généralisé qui peut être utilisé pour mesurer la sortie d'un ESW. Des détails sur le système de mesure sont fournis aux 4.4 et 4.5.

Installer dans l'ESW des batteries neuves ou totalement chargées du type spécifié par le fabricant de l'ESW. Tous les mesurages doivent être effectués avant épuisement d'environ 10 % de la charge de la batterie. Si l'ESW est retiré du service pour des essais postdéploiement et/ou pour vérification des performances, il doit être soumis à essai en l'état de livraison sans remplacement de la batterie, sauf indication contraire de l'utilisateur de la norme.

4.2 Exigences en matière d'instrumentation

4.2.1 Généralités

Les exigences d'instrumentation décrites dans le présent 4.2 sont destinées aux conditions de mesure en laboratoire et non pour émuler l'effet de conditions externes variables. Ces exigences feraient l'objet d'une exigence de performance ou d'une norme pour l'ESW.

4.2.2 Exigences de performances minimales

Les spécifications en matière de performances minimales pour l'instrumentation exigées pour acquérir des *formes d'onde ESW* sont indiquées ici et énumérées dans le Tableau 1. Pour l'enregistreur de forme d'onde, trois ensembles de spécifications de performances sont fournis. L'enregistreur de forme d'onde doit être en mesure de démontrer simultanément toutes les spécifications de performances minimales énumérées dans ce tableau. Le premier ensemble correspond aux exigences minimales pour un système de mesure de référence, le deuxième concerne un système secondaire qui doit être rapporté au système de référence et le troisième ensemble reflète un système qui doit être rapporté au système secondaire ou au système de référence. Il est de la responsabilité de l'utilisateur du système secondaire ou tertiaire de démontrer la traçabilité métrologique au système de référence.

Tableau 1 – Spécifications de performances minimales de l'enregistreur de forme d'onde

Paramètre	Système de référence	Système secondaire	Système tertiaire
Bande passante analogique (MHz)	≥ 500	≥ 100	Défini par l'utilisateur ^a
Fréquence d'échantillonnage (échantillons/s)	≥ 1 × 10 ⁹	≥ 2 × 10 ⁸	Défini par l'utilisateur ^a
Époque, min (s)	≥ 10	≥ 2	Défini par l'utilisateur ^a
Rapport signal/bruit (SNR) (dB) [IEEE Std. 1057-2007, 8.3]	≥ 40	≥ 30	≥ 30
Rapport signal/bruit et distorsion (SINAD) (dB) [IEEE Std. 1057-2007, 8.2]	≥ 40	≥ 30	≥ 30
Dynamique de modulation sans parasites (SFDR) (dB) [IEEE Std. 1057-2007, 8.8]	≥ 50	≥ 40	≥ 40
Nombre de bits effectifs (ENOB) (bits) [IEEE Std. 1057-2007, 8.5]	≥ 7	≥ 6	≥ 6
Impédance d'entrée: avec correspondance avec l'impédance de la sonde, représentée par Z_{probe}	$Z_{probe} \pm 0,02 Z_{probe}$	$Z_{probe} \pm 0,05 Z_{probe}$	$Z_{probe} \pm 0,05 Z_{probe}$
Impédance d'entrée: sans correspondance avec Z_{probe}	≥ 10 Z_{probe}	≥ 10 Z_{probe}	≥ 10 Z_{probe}
^a Le système tertiaire permet à l'utilisateur de la norme de définir des spécifications de performances pour certains paramètres, dans la mesure où ces spécifications définies par l'utilisateur sont basées sur l'interprétation documentée et la connaissance sur le fonctionnement de l'ESW et la réponse attendue lorsqu'il est exposé à la sortie ESW. L'utilisateur du système tertiaire doit démontrer la traçabilité métrologique au système secondaire.			

La liste suivante décrit les exigences de performances minimales pour les connecteurs, les câbles et les charges électriques utilisés pour soumettre l'ESW à l'essai:

- Câbles/connecteurs
 - Impédance caractéristique: 50 Ω ± 2 Ω
 - Bande passante analogique: > 1 GHz
- Charges électriques
 - Résistance: 300 Ω ± 3 Ω
600 Ω ± 6 Ω
1 000 Ω ± 10 Ω
 - Inductance: < 0,01 L_{ESW} ou 20 nH (le plus élevé des deux) où L_{ESW} correspond à l'auto-induction du fil reliant les pointes et le boîtier d'un ESW câblé longue portée.

4.2.3 Traçabilité du système de mesure

4.2.3.1 Généralités

La traçabilité du système de mesure *ESW*, par application de la définition de *traçabilité métrologique*, permet que les résultats de mesure des systèmes de mesure les moins performants soient rapportés aux résultats de mesure d'un *système de mesure de référence ESW* à travers une chaîne ininterrompue d'étalonnages documentée, dans laquelle chaque partie contribue à l'*incertitude de mesure* pour un *mesurande (paramètre de forme d'onde)*. Souvent, cette chaîne d'étalonnages peut être obtenue à l'aide d'un artefact rigoureusement sélectionné ou d'un étalon de transfert. Les résultats de la mesure de l'artefact réalisée par le *système de mesure de référence ESW* rapportent l'étalonnage de l'artefact. Cet étalonnage peut se rapporter à la *forme d'onde* de sortie *ESW* ou à n'importe quel *paramètre* décrivant la *forme d'onde*.

Les caractéristiques de performances de trois différents systèmes de mesure sont décrites dans la présente norme (voir Tableau 1): un *système de référence*, un système secondaire et un système tertiaire. Les caractéristiques de performances du *système de référence* sont sélectionnées pour permettre l'acquisition de *formes d'onde* qui représentent les *signaux* produits par l'*ESW* avec la plus grande fidélité. Le *système de référence* est adapté aux laboratoires de métrologie qui prennent en charge les procédés d'accréditation de laboratoires tiers et fournissent des lignes directrices et recommandations en matière de mesurage de la sortie de l'*ESW*. Le système de mesure secondaire présente les spécifications de performances assouplies par rapport à celles du *système de mesure de référence*. Le système de mesure tertiaire est un système dans lequel les spécifications de performances sont définies par l'utilisateur de la norme.

L'utilisateur doit fournir la *traçabilité métrologique* depuis son système de mesure secondaire vers le *système de mesure de référence* ou depuis son système de mesure tertiaire vers un *système de mesure* secondaire ou de *référence*. La *traçabilité métrologique* des systèmes secondaire et tertiaire peut être obtenue via des étalons (de transfert) d'artefact. Ces étalons de transfert sont, par exemple, décrits comme les instruments étalonnés dans les figures. L'étalonnage de ces instruments doit être réalisé par un laboratoire d'essai accrédité.

4.2.3.2 Limitations

Il n'existe actuellement aucune méthode de mesure du spectre de phase d'un *enregistreur de forme d'onde* ou d'un système de mesure doté d'un *enregistreur de forme d'onde*, ni de référence de phase adaptée. Par conséquent, le spectre de phase est calculé à partir de la transformée de fréquence de la réponse à un échelon du système de mesure. La *traçabilité métrologique* du spectre de phase ou de la réponse à un échelon est limitée par la disponibilité des générateurs d'impulsions adaptés pour agir comme étalons de transfert et, s'ils sont disponibles, par l'*incertitude* dans le spectre de phase de la sortie des générateurs.

L'utilisateur de la norme peut souhaiter établir la *traçabilité métrologique* entre les systèmes de mesure en prenant en compte séparément l'*enregistreur de forme d'onde* et les sondes. Dans ce cas, l'*enregistreur de forme d'onde* peut être étalonné à l'aide de générateurs d'impulsions couramment disponibles et les sondes à l'aide de sources haute tension appropriées. Toutefois, si la réponse *transitoire* des sondes doit être mesurée, ce qui est probable, il convient d'étalonner le système de mesure dans son ensemble. Dans ce cas, un générateur d'impulsions haute tension approprié doit être utilisé pour établir la *traçabilité métrologique*.

Pour la *traçabilité métrologique* entre les systèmes secondaire et tertiaire, il existe des générateurs d'impulsions haute tension disponibles sur le marché qui peuvent être utilisés comme étalon de transfert. Toutefois, au moment de l'élaboration de la présente norme, il n'existe sur le marché aucun générateur d'impulsions qui émette des impulsions haute tension répétitives qui assure une réponse transitoire rapide et échelonnée pouvant agir comme étalon de transfert pour établir la *traçabilité métrologique* entre les systèmes de mesure secondaire et de référence, ou pouvant agir comme étalon de contrôle pour le

système de référence. Par conséquent, l'utilisateur de la norme doit développer un étalon de transfert approprié pour le générateur d'impulsions haute tension avec réponse transitoire rapide. L'utilisateur de la norme doit également fournir la *traçabilité métrologique* de la sortie du générateur d'impulsions à l'institut national de métrologie.

4.2.4 Étalonnage du système

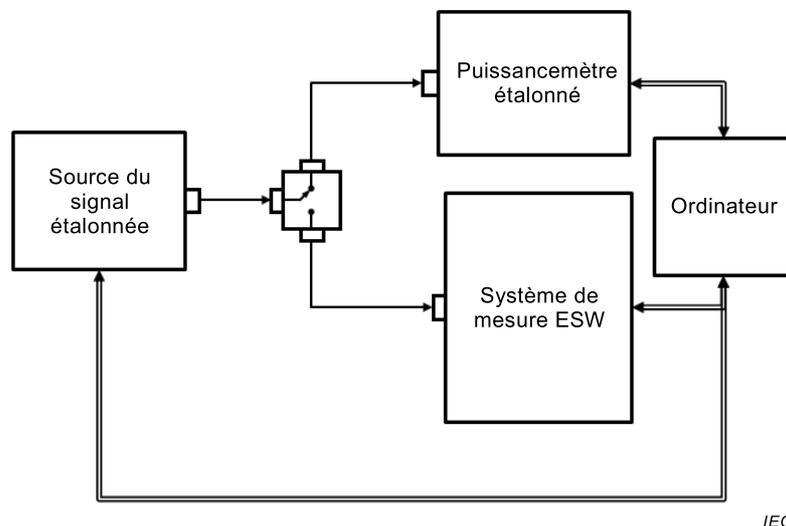
4.2.4.1 Généralités

L'étalonnage des instruments est réalisé pour garantir l'exactitude, la répétabilité et la reproductibilité des résultats de mesure. La reproductibilité est essentielle pour réaliser des comparaisons précises de mesure entre laboratoires pour un *ESW* défini, pour réaliser des comparaisons entre différents *ESW* ainsi que pour observer les changements de performances au fil du temps dans une unité spécifique. Le système de mesure inclut *l'enregistreur de forme d'onde*, les sondes électriques et tous les câbles et connecteurs exigés pour connecter la sonde à *l'enregistreur de forme d'onde*.

4.2.4.2 Étalonnage du canal vertical

4.2.4.2.1 Généralités

Le canal vertical du système de mesure peut être étalonné à l'aide de méthodes utilisant un domaine de fréquence ou temporel. Il n'est pas recommandé d'utiliser des niveaux d'entrée statique pour étalonner les canaux d'entrée du système de mesure car cette méthode peut ne pas mesurer avec précision les performances du système de mesure en raison de sa réponse dépendante de la fréquence.



IEC

Figure 2 – Configuration pour l'étalonnage du canal vertical du système de mesure ESW

Le canal vertical est généralement étalonné en mesurant sa *réponse impulsionnelle* ou sa fonction de transfert. La fonction de transfert correspond à la transformée de fréquence de la réponse impulsionnelle et, de ce fait, contient les composantes d'amplitude et de phase (ou réelles et imaginaires). Les méthodes utilisant le domaine de fréquence sont utilisées pour obtenir la composante d'amplitude de la fonction de transfert du système de mesure et les méthodes utilisant le domaine temporel sont utilisées pour obtenir la *réponse impulsionnelle*.

Les méthodes par balayage de fréquence fournissent uniquement la réponse amplitude-fréquence du système de mesure. En effet, à l'heure actuelle, il n'existe aucune méthode par balayage de fréquence permettant de mesurer la réponse phase-fréquence d'un système de mesure. Les méthodes utilisant le domaine temporel, via des transformées temps-fréquence (par exemple la transformée de Fourier), peuvent fournir des informations d'amplitude et de phase de la réponse du système de mesure. Comme les méthodes par domaine temporel

utilisent des *signaux* d'impulsion, la densité spectrale des méthodes par domaine temporel est largement inférieure à celle des méthodes par balayage de fréquence. Cela signifie que, pour la réponse en amplitude du système de mesure, les méthodes par balayage de fréquence sont plus précises et fournissent de meilleurs rapports signal/bruit que les méthodes par domaine temporel. Bien que la plupart des données souhaitées pour un *ESW* ou un générateur d'impulsions soient des *paramètres* du domaine temporel, le traitement et l'analyse de *forme d'onde* peuvent souvent s'avérer plus rapides et plus précis que si des informations du domaine de fréquence sont utilisées. C'est pourquoi les méthodes utilisant le domaine de fréquence et le domaine temporel sont brièvement décrites dans le présent document.

La Figure 2 illustre la disposition générale pour l'étalonnage des canaux verticaux du système de mesure. La méthode utilisée pour étalonner le ou les canaux verticaux du système de mesure *ESW* doit être décrite et documentée de manière adaptée afin que la méthode, y compris l'installation, puisse être correctement répliquée par d'autres personnes. Cette description et cette documentation doivent inclure le fabricant et le modèle de tous les instruments et composants utilisés, la documentation d'étalonnage de chaque instrument, les réglages appropriés pour chaque instrument, les réglages appropriés pour l'étalonnage du système de mesure, les conditions d'environnement, la disposition du système de mesure ainsi que le code source de tous les algorithmes utilisés pour calculer les *paramètres* d'étalonnage des canaux verticaux.

4.2.4.2.2 Réponse en fréquence

La réponse en fréquence de l'instrument de mesure est mesurée à l'aide d'une source de fréquence et de volumètres à diodes, comme l'illustre la Figure 3. Le volumètre est la référence pour ce mesurage et, par conséquent, il doit être étalonné selon l'étalonnage de référence d'un institut de métrologie national.

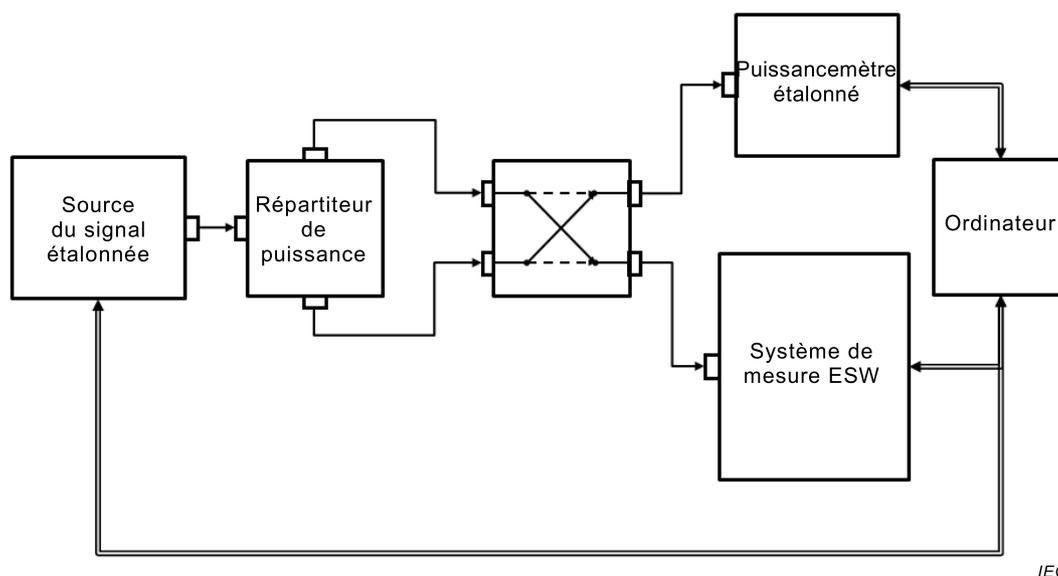


Figure 3 – Configuration pour l'étalonnage de la réponse amplitude-fréquence du système de mesure *ESW*

Cette méthode exige deux mesurages de valeur nominale identique en raison des performances non idéales du répartiteur de puissance (voir Figure 3). Dans cette méthode, la sortie de la source est échelonnée par la plage de fréquences définie par l'utilisateur à l'aide des échelons de fréquence définis par l'utilisateur. L'intervalle des échelons de fréquence peut être uniforme ou non. Les formes d'onde sont acquises à partir de l'enregistreur de formes d'onde pour chaque fréquence puis analysées pour fournir l'amplitude de *crête à crête* et la puissance moyenne. La sortie du volumètre fournit en parallèle une mesure de la puissance moyenne. Comme le répartiteur de puissance (voir Figure 3) peut ne pas être

idéalement équilibré, les connexions de l'instrument de mesure et du volumètre au répartiteur de puissance sont échangées et le mesurage est à nouveau réalisé. Une moyenne est réalisée à partir des résultats de ces deux ensembles de mesures. La réponse en amplitude du système de mesure est estimée en prenant le volumètre pour référence.

La réponse en amplitude du système de mesure n'est pas suffisante pour constituer la réponse temporelle du système de mesure; la réponse en phase est également exigée.

4.2.4.2.3 Réponse temporelle

Les méthodes utilisant le domaine temporel, comme mentionné précédemment, peuvent fournir la réponse temporelle et, via une transformée temps en fréquence, les composantes d'amplitude et de phase de la réponse en fréquence du système de mesure. La Figure 4 illustre une configuration typique pour mesurer la réponse temporelle d'un instrument de mesure. La sortie du générateur d'impulsions sert de référence et, par conséquent, doit être étalonnée selon l'étalonnage de référence d'un institut de métrologie national.

Pour réaliser cette méthode, la sortie d'impulsion du générateur d'impulsions est acquise par le système de mesure. En utilisant cette impulsion de sortie comme référence, la réponse impulsionnelle du système de mesure est estimée.

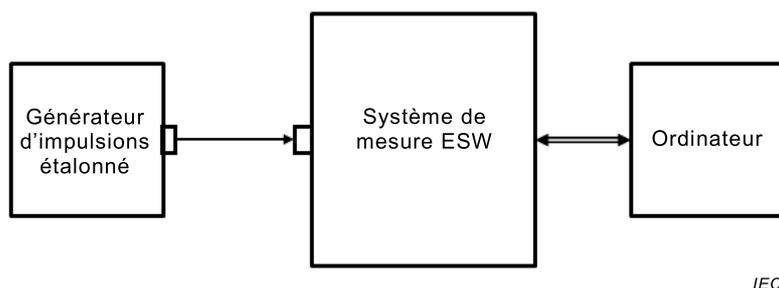


Figure 4 – Configuration pour l'étalonnage de la réponse temporelle du système de mesure ESW

4.2.4.3 Étalonnage de la base de temps

La base de temps du système de mesure peut être établie à l'aide de techniques à ondes sinusoïdales utilisant les ondes sinusoïdales de fréquences connues, ou d'un générateur de marqueur temporel (ou équivalent) pour lequel le délai d'attente entre les impulsions séquentielles est connu. Ces deux méthodes sont couramment utilisées au moment de l'élaboration de la présente norme. La méthode utilisée pour étalonner la base de temps du système de mesure ESW doit être décrite et documentée de manière adaptée afin que la méthode, y compris l'installation, puisse être correctement répliquée par un utilisateur de la norme. Cette description et cette documentation doivent inclure le fabricant et le modèle de tous les instruments et composants utilisés, la documentation d'étalonnage de chaque instrument, les réglages appropriés pour chaque instrument, les réglages appropriés pour l'étalonnage du système de mesure, les conditions d'environnement, la disposition du système de mesure ainsi que le code source de tous les algorithmes utilisés pour calculer les paramètres d'étalonnage de la base de temps.

4.2.4.4 Résistances

La résistance au courant continu des résistances doit être mesurée et ces valeurs doivent être utilisées dans les calculs ultérieurs des *paramètres de forme d'onde*. La méthode utilisée pour étalonner les résistances doit être décrite et documentée de manière adaptée afin que la méthode, y compris l'installation, puisse être correctement répliquée par d'autres personnes. Cette description et cette documentation doivent inclure le fabricant et le modèle de tous les instruments et composants utilisés, la documentation d'étalonnage de chaque instrument, les

réglages appropriés pour chaque instrument, les conditions d'environnement, la disposition du système de mesure ainsi que le code source de tous les algorithmes utilisés pour calculer la valeur de résistance et l'utilisateur de la norme doit fournir ces informations en cas de demande.

4.3 Conditions d'environnement

La température pendant la période de mesure doit être de $21\text{ °C} \pm 2\text{ °C}$ pour le *système de mesure de référence* et de $21\text{ °C} \pm 4\text{ °C}$ pour les systèmes de mesure secondaire et tertiaire. L'humidité relative doit être de $40\% \pm 10\%$ pour le *système de mesure de référence* et de $40\% \pm 20\%$ pour les systèmes de mesure secondaire et tertiaire. La température et l'humidité relative doivent être enregistrées au moins une fois immédiatement avant le début des *procédés de mesure de forme d'onde* ESW et au moins une fois immédiatement après.

4.4 Décharge électrostatique (DES)

Toute l'instrumentation d'essai doit être placée sur une surface antistatique comportant un connecteur relié à la terre et la résistance de la terre à la surface doit être $> 10^6\ \Omega$. L'ESW en essai et tous les autres conducteurs haute tension doivent être placés sur des surfaces de protection haute tension.

4.5 Mesurages de formes d'onde du courant

4.5.1 Généralités

L'acquisition des *formes d'onde* représentant la sortie de courant électrique de l'ESW est décrite en 4.5. Une configuration de mesure générale et typique est décrite. La configuration décrite ici doit être utilisée sauf si l'utilisateur de la norme en définit une différente.

L'amplitude du courant déchargé depuis l'ESW en tant que fonction de temps est un *paramètre* important qui permet le calcul de la charge électrique totale délivrée au circuit de charge. Le courant doit être converti en tension à l'aide d'un convertisseur de courant en tension pour qu'un *enregistreur de forme d'onde* parvienne à acquérir l'évolution temporelle du courant au sein du circuit de charge. Cette conversion peut être réalisée avec un shunt de résistance ou une résistance de stabilisation connu(e), un transformateur de courant, un dispositif à effet de Hall ou toute autre technologie adaptée. Une sonde de courant incorpore un ou plusieurs de ces convertisseurs de courant en tension. Chaque technologie de convertisseur présente des avantages et des inconvénients. Une partie des convertisseurs les plus couramment utilisés est décrite brièvement ci-après.

Une résistance de stabilisation à large bande est utilisée en série avec les convertisseurs dont les valeurs de résistance sont les plus élevées, et avec un conducteur de l'ESW. Par exemple, la configuration de stabilisation est atteinte dans une forme simple comprenant trois résistances en série, avec une résistance totale de R_{load} lorsque la résistance de stabilisation est placée entre les deux autres résistances. Les deux autres résistances ont une valeur nominale de résistance identique et sont sélectionnées afin que la résistance électrique, R_{CS} , de la résistance de stabilisation fournisse une perte de tension ne dépassant pas la plage d'entrée de l'*enregistreur de forme d'onde*. La perte de tension de R_{CS} est ensuite mesurée à l'aide d'un *enregistreur de forme d'onde*. Un transformateur de courant peut être fixé par une pince à l'un des conducteurs ESW ou l'un des conducteurs ESW peut passer par un trou dans le transformateur. Le transformateur à pince peut présenter une bande passante inférieure à celle d'un transformateur dans lequel le conducteur passe. Les transformateurs de courant ou les dispositifs à effet de Hall ne sont pas connectés au conducteur de l'ESW et sont, par conséquent, isolés électriquement de celui-ci.

Comme les ESW fonctionnent généralement sur batterie, leur sortie haute tension varie en fonction de la masse du châssis de l'*enregistreur de forme d'onde* et une attention particulière doit être portée pour garantir que cette situation perdure lors de l'utilisation d'une résistance de stabilisation. La capacité parasite entre l'ESW à l'essai et la table du système de mesure peut contenir des erreurs de résultats de mesure. Pour réduire l'effet de cette capacité sur le

mesurage et pour éviter tout court-circuit accidentel de l'*ESW* à la terre, l'*ESW* peut être placé sur une plate-forme isolée non conductrice sur laquelle la séparation entre la plate-forme et la terre est au moins égale à 1,5 fois l'espacement minimal entre les électrodes (*ESW* ou résistance de charge) (voir IEEE Std 4-1995), sauf si une valeur supérieure est spécifiée par l'utilisateur de la présente norme.

4.5.2 Configuration de mesure

La configuration de mesure est montrée à la Figure 1. Il convient que l'*enregistreur de forme d'onde* et que les autres instruments d'essai soient placés sur une surface DES. Il convient d'établir des connexions à la résistance de charge aussi courtes que possible afin d'éviter tout enroulement inductif et autre effet parasite nuisible à la *forme d'onde*. En fonction de la conception de l'*ESW* soumis à l'essai, un éclateur placé et dimensionné de façon adéquate doit être incorporé à l'installation d'essai de l'*ESW*. Il convient que l'*ESW* en essai et que tous les conducteurs à haute tension reposent sur une surface de protection haute tension. L'utilisateur de la norme doit isoler électriquement les attaches et les flèches d'un *ESW câblé longue portée* les unes des autres afin de garantir qu'aucun arc ne se produit entre elles pendant le mesurage.

Avant de commencer un mesurage, vérifier que tous les instruments fonctionnent correctement en les activant avec des *signaux* connus. Vérifier que l'ordinateur peut contrôler l'*enregistreur de forme d'onde* et les autres instruments, et acquérir les données exigées.

L'utilisateur de la norme se sert de l'équipement d'essai qu'il a identifié comme nécessaire et adapté au mesurage du courant de sortie d'un *ESW*. La fourniture de détails sur ces configurations n'est donc pas comprise dans le domaine d'application de la présente norme. Au lieu de cela, l'utilisateur de la norme doit documenter la configuration de mesure.

4.5.3 Exigences de la sonde de courant

L'*enregistreur de forme d'onde* exige une tension d'entrée comme *signal* à mesurer. Par conséquent, pour mesurer le courant de sortie de l'*ESW*, ce courant de sortie doit être converti en tension pour être mesuré par l'*enregistreur de forme d'onde*. Cette conversion de courant en tension est obtenue à l'aide d'un convertisseur de courant en tension approprié qui est l'un des composants de la sonde de courant.

Il convient que la sonde de courant ait une bande passante permettant de capturer la *forme d'onde* représentant la sortie de courant de l'*ESW* avec suffisamment de précision et de justesse. Le rapport de conversion de courant en tension du convertisseur est souvent approximativement de 1:1 et, par conséquent, le niveau de tension de la sortie est suffisamment faible pour être directement connecté à l'entrée de l'*enregistreur de forme d'onde*. Si cela n'est pas le cas, l'utilisateur de la norme doit utiliser un atténuateur pour réduire le niveau de tension du *signal* d'entrée à une valeur adaptée pour l'*enregistreur de forme d'onde*.

S'il s'agit d'un *ESW* du type contact (*ESW de contact*), il comporte des électrodes qui sont utilisées pour réaliser un contact physique avec la personne afin de délivrer le signal haute tension. C'est pour cette raison qu'un *ESW de contact* ne comporte pas de conducteur pouvant passer à travers le trou d'une sonde de courant à large bande ou pouvant y être fixé par une pince. Par conséquent, un montage de stabilisation de charge et de courant spécifique à l'*ESW de contact* doit être conçu et constitué par l'utilisateur de la norme pour permettre aux électrodes de se connecter à une résistance de charge et de mesurer la tension et le courant; cette conception doit être rendue disponible sur demande. Ce montage de stabilisation spécial de charge et de courant pour l'*ESW de contact* doit fournir une connexion électrique entre les électrodes et la résistance de charge; les connexions électriques doivent fournir la connexion adaptée à la sonde de courant et un moyen de mesurer la tension dans la résistance de charge. Pour l'*ESW de contact* et l'*ESW câblé longue portée*, la sortie de tension de la sonde de courant est mesurée à l'aide d'un *enregistreur de forme d'onde* et le courant est calculé à partir du facteur de conversion de courant en tension de la sonde.

Les caractéristiques exigées pour une sonde de courant utilisée dans le système de mesure *ESW* sont les suivantes (voir Tableau 1).

- Rapport courant/tension: approprié pour la plage d'entrée et de sortie *ESW* de l'enregistreur de forme d'onde
- Impédance de sortie: $Z_{WR} \pm 0,05 Z_{WR}$ pour correspondance avec un enregistreur de forme d'onde avec une impédance d'entrée nominale Z_{WR} de 50 Ω
< 0,1 Z_{WR} , sinon
- Bande passante analogique: ≥ 200 MHz, système de référence
 ≥ 100 MHz, système secondaire
 \geq définie par l'utilisateur, système tertiaire

4.5.4 Acquisition de forme d'onde

L'utilisateur de la norme doit définir une procédure détaillée d'acquisition de *forme d'onde* et documenter cette procédure conformément à l'ISO/IEC 17025.

4.6 Mesurages de forme d'onde de la tension

4.6.1 Généralités

L'acquisition de *formes d'onde* représentant la sortie haute tension de l'*ESW* est décrite en 4.6. Une configuration de mesure générale et typique est décrite. Il convient d'utiliser la configuration et la procédure de mesure décrites ici, sauf si l'utilisateur de la norme spécifie une configuration et une procédure différentes.

L'amplitude de la sortie haute tension d'un *ESW* est mesurée comme une fonction de temps à l'aide d'un diviseur de tension résistif, d'un diviseur de tension capacitif ou autre sonde de tension qui réduit l'amplitude de la sortie haute tension de l'*ESW* à un niveau approprié pour l'entrée dans l'enregistreur de forme d'onde. La séparation entre les électrodes, l'entrefer dans la partie de la poignée de l'*ESW*, via le claquage électrique de l'air dans l'entrefer, indique la valeur de haute tension maximale qui peut être attendue pour un *ESW* donné. Pour les *ESW*, le mesurage de cette limite haute tension peut être adapté par un rapport de conversion de haute tension en basse tension d'environ 1 000:1.

4.6.2 Configuration de mesure

La configuration de mesure est montrée à la Figure 1. Il convient que l'enregistreur de forme d'onde et que les autres instruments d'essai soient placés sur une surface DES. Il convient d'établir des connexions à la résistance de charge aussi courtes que possible afin d'éviter tout enroulement inductif et autre effet parasite nuisible à la forme d'onde. En fonction de la conception de l'*ESW* soumis à l'essai, un éclateur placé et dimensionné de façon adéquate doit être incorporé à l'installation d'essai de l'*ESW*. Il convient que l'*ESW* en essai et que tous les conducteurs à haute tension reposent sur une surface de protection haute tension. L'utilisateur de la norme doit isoler électriquement les attaches et les flèches d'un *ESW câblé longue portée* les unes des autres afin de garantir qu'aucun arc ne se produit entre elles pendant le mesurage.

Avant de commencer un mesurage, vérifier que tous les instruments fonctionnent correctement; en les activant avec des *signaux* connus. Vérifier que l'ordinateur peut contrôler l'enregistreur de forme d'onde et les autres instruments, et acquérir les données exigées.

L'utilisateur de la norme se sert de l'équipement d'essai qu'il a identifié comme nécessaire et adapté au mesurage du courant de sortie d'un *ESW*. La fourniture de détails sur ces configurations n'est donc pas comprise dans le domaine d'application de la présente norme. Au lieu de cela, l'utilisateur de la norme doit documenter la configuration de mesure.

4.6.3 Exigences de la sonde de tension

L'*enregistreur de forme d'onde* exige une tension d'entrée faible (généralement comprise entre -10 V et 10 V) comme *signal* à mesurer. Par conséquent, pour mesurer la sortie *haute tension de l'ESW*, cette sortie *haute tension* doit être convertie en tension adaptée pour le mesurage réalisé par l'*enregistreur de forme d'onde*. Cette conversion de *haute tension* en basse tension est obtenue par un convertisseur approprié qui est l'un des composants de la sonde *haute tension*.

Il convient que la sonde *haute tension* ait une bande passante permettant de capturer la *forme d'onde* représentant la sortie *haute tension* de l'*ESW* avec suffisamment de précision et de justesse. Le rapport de conversion de *haute tension* en basse tension du convertisseur est souvent de l'ordre de 1000:1 ou supérieur; par conséquent, le niveau de tension de la sortie est suffisamment faible pour être directement connecté à l'entrée de l'*enregistreur de forme d'onde*. Si cela n'est pas le cas, l'utilisateur de la norme doit utiliser un atténuateur pour réduire le niveau de tension du *signal* d'entrée à une valeur adaptée pour l'*enregistreur de forme d'onde*. L'impédance d'entrée de la sonde est généralement de l'ordre de 100 M Ω et est en parallèle avec une capacité faible de l'ordre de 10 pF. Sa sortie peut être conçue de manière à être connectée à une charge de 50 Ω ou 1 M Ω .

Les caractéristiques exigées pour une sonde *haute tension* utilisée dans le système de mesure *ESW* sont les suivantes (voir Tableau 1).

- Rapport courant/tension: approprié pour la plage d'entrée et de sortie *ESW* de l'*enregistreur de forme d'onde*
- Impédance de sortie: $Z_{WR} \pm 0,05 Z_{WR}$ pour correspondance avec un *enregistreur de forme d'onde* avec une impédance d'entrée nominale Z_{WR} de 50 Ω
< 0,1 Z_{WR} , sinon
- Bande passante analogique: ≥ 100 MHz, système de référence
 ≥ 50 MHz, système secondaire
 \geq définie par l'utilisateur, système tertiaire

4.6.4 Acquisition de la forme d'onde

L'utilisateur de la norme doit définir une procédure détaillée d'acquisition de *forme d'onde* et documenter cette procédure.

5 Paramètres de la forme d'onde

5.1 Généralités

Les *formes d'onde* de courant et *haute tension* peuvent être analysées indépendamment. Chacun des *paramètres* mentionnés ci-dessous peut être appliqué aux *formes d'onde* de courant ou *haute tension*. Lorsqu'il enregistre et rapporte des valeurs pour ces *paramètres*, l'utilisateur de la norme doit utiliser des unités SI ou des unités non SI acceptées conformément au système international d'unités (SI) du Bureau international des poids et mesures (BIPM). L'*incertitude de mesure* et les méthodes de calcul de cette *incertitude de mesure* pour les *paramètres* répertoriés de 3.2 à 3.14 doivent être fournies par l'utilisateur de la norme.

Il convient que l'utilisateur de la norme utilise des *formes d'onde* qui reproduisent le plus fidèlement possible la sortie des *signaux haute tension* et de courant électrique de l'*ESW*. Le niveau de précision de ces *formes d'onde* par rapport à la sortie réelle de l'*ESW* définit l'exactitude de la valeur des *paramètres* répertoriés ci-après.

Par exemple, les *formes d'onde acquises* ne sont pas nécessairement une représentation hautement fidèle du *signal* de sortie de l'*ESW* pour plusieurs raisons, notamment la *réponse impulsionnelle* finie de l'*enregistreur de forme d'onde* et des sondes, la réponse en amplitude non linéaire des sondes et les erreurs de *base de temps* de l'*enregistreur de forme d'onde*. Pour améliorer l'exactitude de cette représentation, l'utilisateur de la norme dispose de plusieurs options. Par exemple, le *système de mesure de référence* est conçu, en se basant sur les modèles de dispositif *ESW* de 2013 et antérieurs, pour fournir des caractéristiques de performances au moins dix fois supérieures à celles nécessaires pour mesurer la sortie de l'*ESW*. Dans ce cas, le système de mesure peut être comparé à un système idéal et les *formes d'onde acquises* peuvent être considérées comme une reproduction exacte des sorties de l'*ESW*. Toutefois, il peut toujours s'avérer utile de supprimer l'effet de l'instrument de mesure à l'aide de techniques de *reconstitution des formes d'onde* et de corriger les autres erreurs linéaires. Dans ce cas, il convient que la *forme d'onde corrigée* et la *forme d'onde reconstituée* fournissent la représentation la plus exacte possible de la sortie de l'*ESW*. Pour les systèmes secondaire et tertiaire, la *reconstitution des formes d'onde* sera probablement nécessaire pour fournir une représentation exacte du *signal* de sortie de l'*ESW*. Toutefois, l'effet du système de mesure sur la *forme d'onde acquise* pouvant être supprimé est limité.

Les valeurs des *échantillons* dans la *forme d'onde* de courant dépendent de la résistance à laquelle l'*ESW* est relié.

5.2 Décomposition d'une forme d'onde

La sortie électrique de l'*ESW* peut être décrite comme un *train d'impulsions* d'une durée limitée. Dans ce cas, l'*époque de forme d'onde* doit être décomposée conformément au 5.5 de l'IEC 60469:2013, ou selon les spécifications de l'utilisateur de la norme, pour produire un nombre, N , de sous-*époques de forme d'onde*, où chaque sous-*époque de forme d'onde* contient une *forme d'onde à impulsion*, et N correspond au nombre de *formes d'onde à impulsion* dans le *train d'impulsions à durée limitée*. Le calcul ou la détermination des valeurs des *paramètres* répertoriés à l'Article 5 doit être réalisé(e) pour chacune des N sous-*époques de forme d'onde*, sauf spécification contraire de l'utilisateur.

5.3 Instants initiaux et finaux

Après la décomposition (5.2), l'utilisateur de la norme dispose d'un ensemble de N *instants initiaux* uniques et de N *instants finaux* uniques, un de chaque pour chacune des N sous-*époques de forme d'onde*. Ces *instants initiaux* doivent être étiquetés $t_{0,i}$ et les *instants finaux* doivent être étiquetés $t_{f,i}$, où $i = 1, \dots, N$, et ces valeurs doivent être enregistrées. Un exemple de la manière dont cela peut être enregistré est fourni au Tableau 2.

Tableau 2 – Instants initiaux et instants finaux pour les sous-époques de forme d'onde

Sous-époque de forme d'onde (index)	Instant initial s	Instant final s
1	$t_{0,1}$	$t_{f,1}$
2	$t_{0,2}$	$t_{f,2}$
..
..
$N-1$	$t_{0,N-1}$	$t_{f,N-1}$
N	$t_{0,N}$	$t_{f,N}$

5.4 Niveau moyen

La valeur du *niveau moyen*, \bar{y}_i , pour la *forme d'onde* dans chaque i ème sous-*époque de forme d'onde* doit être calculée à l'aide de la formule suivante, sauf spécification contraire de l'utilisateur de la norme:

$$\overline{y}_i = \left(\frac{1}{M_i} \right) \sum_{j=1}^{M_i} y_j, \quad (3)$$

où

i est l'index des sous-époques de forme d'onde, $i = 1, \dots, N$,

M_i est le nombre d'échantillons de chaque sous-époque de forme d'onde.

Si l'utilisateur de la norme emploie des index de début et de fin différents pour la somme que ce qui est indiqué ici, l'utilisateur doit spécifier les index de début et de fin.

5.5 Niveau moyen absolu

La valeur du *niveau moyen absolu*, $|\overline{y}_i|$, pour la *forme d'onde* dans chaque i ème sous-époque de forme d'onde doit être calculée à l'aide de la formule suivante, sauf spécification contraire de l'utilisateur de la norme:

$$|\overline{y}_i| = \left(\frac{1}{M_i} \right) \sum_{j=1}^{M_i} |y_j| \quad (4)$$

où

i est l'index des sous-époques de forme d'onde, $i = 1, \dots, N$,

M_i est le nombre d'échantillons de chaque sous-époque de forme d'onde.

Si l'utilisateur de la norme emploie des index de début et de fin différents pour la somme que ce qui est indiqué ici, l'utilisateur doit spécifier les index de début et de fin.

5.6 Charge nette

La charge nette, Q_{net} , envoyée au dispositif contenant la charge électrique à laquelle l'*ESW* est relié, peut être calculée comme suit:

$$Q_{net,i} = \overline{y}_i T_i, \quad (5)$$

où

T_i est la *durée* de la sous-époque de forme d'onde (voir IEC 60469:2013, 5.1.4) sauf spécification contraire de l'utilisateur de la norme.

5.7 Charge totale

La charge totale, Q_{tot} , envoyée au dispositif contenant la charge électrique à laquelle l'*ESW* est relié, peut être calculée comme suit:

$$Q_{tot,i} = |\overline{y}_i| T_i, \quad (6)$$

où

T_i est la *durée* de la sous-époque de forme d'onde (voir IEC 60469:2013, 5.1.4) sauf spécification contraire de l'utilisateur de la norme.

5.8 Énergie d'impulsion

L'énergie d'impulsion, E_p , envoyée au dispositif contenant la charge électrique à laquelle l'*ESW* est relié, peut être calculée comme suit:

$$E_{p,i} = T_i \sum_{j=0}^{N-1} |V_i[f_j] I_i[f_j]|, \quad (7)$$

où

j est l'index à temps discret $j = 0, \dots, N - 1$,

$V_i[f]$ est la transformée de Fourier discrète de la *forme d'onde* de tension pour l'intervalle T_i ,

$I_i[f]$ est la transformée de Fourier discrète de la *forme d'onde* de courant pour l'intervalle T_i .

5.9 Amplitude d'impulsion

La valeur de l'*amplitude d'impulsion* pour la *forme d'onde* dans chaque *i*ème sous-époque de *forme d'onde* doit être calculée conformément à l'IEC 60469:2013, 5.6.1, sauf spécification contraire de l'utilisateur de la norme.

5.10 Crête maximale (minimale)

La valeur de la *crête maximale (minimale)* (s_{max} , s_{min}) pour la *forme d'onde* dans chaque *i*ème sous-époque de *forme d'onde* doit être déterminée conformément à l'IEC 60469:2013, 5.2.4.1, sauf spécification contraire de l'utilisateur de la norme.

5.11 Valeur de crête à crête

La valeur de *crête à crête*, s_{p-p} , pour la *forme d'onde* dans chaque *i*ème sous-époque de *forme d'onde* doit être calculée à l'aide de la formule suivante, sauf spécification contraire de l'utilisateur de la norme:

$$s_{p-p} = s_{max} - s_{min} \quad (8)$$

où

s_{max} est la *crête maximale* de la *forme d'onde*,

s_{min} est la *crête minimale* de la *forme d'onde*.

5.12 Durée d'impulsion

La valeur de la *durée d'impulsion* pour la *forme d'onde* dans chaque *i*ème sous-époque de *forme d'onde* doit être calculée conformément à l'IEC 60469:2013, 5.4.2, sauf spécification contraire de l'utilisateur de la norme.

5.13 Intervalle entre impulsions

La valeur de l'*intervalle entre impulsions* pour la *forme d'onde* dans chaque *i*ème sous-époque de *forme d'onde* doit être calculée conformément à l'IEC 60469:2013, 5.4.4, sauf spécification contraire de l'utilisateur de la norme.

5.14 Polarisation

La valeur de *polarisation*, s_{off} , pour la *forme d'onde* dans chaque *i*ème sous-époque de *forme d'onde* doit être calculée à l'aide de la formule suivante, sauf spécification contraire de l'utilisateur de la norme:

$$s_{off} = \text{level}(s_1) - \text{level}(s_0), \quad (9)$$

où

s_0 correspond à l'*état de base* pour la *forme d'onde* dans chaque sous-époque de *forme d'onde*,

s_I est un *état* spécifié par l'utilisateur pour la même *forme d'onde*.

5.15 Durée de transition

La valeur de la *durée de transition* pour la *forme d'onde* dans chaque *ième sous-époque de forme d'onde* doit être calculée conformément à l'IEC 60469:2013, 5.3.5, sauf spécification contraire de l'utilisateur de la norme.

5.16 Durée d'établissement de la transition

La valeur de la *durée d'établissement de la transition* pour la *forme d'onde* dans chaque *ième sous-époque de forme d'onde* doit être calculée conformément à l'IEC 60469:2013, 5.3.8, sauf spécification contraire de l'utilisateur de la norme.

5.17 Erreur d'établissement de la transition

La valeur de l'*erreur d'établissement de la transition* pour la *forme d'onde* dans chaque *ième sous-époque de forme d'onde* doit être calculée conformément à l'IEC 60469:2013, 5.3.9, sauf spécification contraire de l'utilisateur de la norme.

5.18 Période de forme d'onde

La valeur de la *période de forme d'onde*, T_i , pour la *forme d'onde* dans chaque *ième sous-époque de forme d'onde* doit être calculée à l'aide de la formule suivante, sauf spécification contraire de l'utilisateur de la norme:

$$T_i = t_{f,i} - t_{0,i}, \quad (10)$$

où

$t_{0,i}$ et $t_{f,i}$ sont donnés au Tableau 2.

Bibliographie

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Electrotechnique International* (disponible à <http://www.electropedia.org>)

IEC 60359, *Appareils de mesure électriques et électroniques – Expression des performances*

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)* (disponible en anglais uniquement)

IEEE Std. 4-1995, *IEEE Standard techniques for high-voltage testing*

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