

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Instruments and software used for measurement in high-voltage and high-current tests –

Part 2: Requirements for software for tests with impulse voltages and currents

Appareils et logiciels utilisés pour les mesures pendant les essais à haute tension et haute intensité –

Partie 2: Exigences pour le logiciel pour les essais avec des tensions et des courants de choc



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2013 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

The advanced search enables you to find IEC publications by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...).

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

Liens utiles:

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

La recherche avancée vous permet de trouver des publications CEI en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...).

Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 61083-2

Edition 2.0 2013-03

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

Instruments and software used for measurement in high-voltage and high-current tests –

Part 2: Requirements for software for tests with impulse voltages and currents

Appareils et logiciels utilisés pour les mesures pendant les essais à haute tension et haute intensité –

Partie 2: Exigences pour le logiciel pour les essais avec des tensions et des courants de choc

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 17.220.20; 19.080

ISBN 978-2-83220-673-7

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.

Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

CONTENTS

FOREWORD.....	3
INTRODUCTION.....	5
1 Scope and object.....	6
2 Normative references	6
3 Terms and definitions	7
4 Test data generator (TDG)	9
4.1 Principle	9
4.2 Data format	9
5 Values and acceptance limits for the parameters of the reference impulses.....	9
6 Software testing	9
6.1 General	9
6.2 Performance test	10
6.3 Uncertainty contribution for IEC 60060-2 and/or IEC 62475	10
7 Record of performance of the software	11
Annex A (normative) Reference values and acceptance limits for the parameters of TDG impulses	12
Annex B (informative) Alternative method for uncertainty estimation	25
Bibliography.....	32
Table 1 – References to impulse voltage parameter definitions	8
Table 2 – References to impulse current parameter definitions	9
Table 3 – Standard uncertainty contributions of software to the overall uncertainty according to the simplified procedure	11
Table A.1 – Reference values and their acceptance limits for full lightning impulses (LI) (1 of 6)	12
Table A.2 – Reference values and their acceptance limits for chopped lightning impulses (LIC) (1 of 2)	18
Table A.3 – Reference values and their acceptance limits for switching impulses (SI).....	20
Table A.4 – Reference values and their acceptance limits for current impulses (IC) (1 of 2)	21
Table A.5 – Reference values and their acceptance limits for oscillating lightning impulses (OLI)	23
Table A.6 – Reference values and their acceptance limits for oscillating switching impulses (OSI)	24
Table B.1 – Expanded uncertainties (U_X) of the lightning impulse reference values (1 of 2)	27
Table B.2 – Expanded uncertainties (U_X) of the chopped lightning impulse reference values	28
Table B.3 – Expanded uncertainties (U_X) of the switching impulse reference values	29
Table B.4 – Expanded uncertainties (U_X) of the impulse current reference values	29
Table B.5 – Expanded uncertainties (U_X) of the oscillating lightning impulse reference values	29
Table B.6 – Expanded uncertainties (U_X) of the oscillating switching impulse reference values	30
Table B.7 – Example of uncertainty estimation	30

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

**INSTRUMENTS AND SOFTWARE USED FOR MEASUREMENT
IN HIGH-VOLTAGE AND HIGH-CURRENT TESTS –****Part 2: Requirements for software for tests
with impulse voltages and currents**

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 61083-2 has been prepared by IEC technical committee 42: High-voltage and high-current testing techniques.

This second edition cancels and replaces the first edition, published in 1996, and constitutes a technical revision.

The main changes with respect to the previous edition are listed below:

- a) the test data generator software has been updated;
- b) the number of reference impulse waveforms included in the test data generator has been significantly increased;
- c) all reference values have been recalculated according to new definitions in IEC 60060-1 and IEC 62475;

- d) methods for estimating the uncertainty of parameter evaluation has been introduced and are in line with the procedure introduced in IEC 60060-2.

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

FDIS	Report on voting
42/318/FDIS	42/321/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.

A list of all the parts in the IEC 61083 series, published under the general title *Instruments and software used for measurement in high-voltage and high-current tests*, can be found on the IEC website.

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

IEC 61083-1 specifies the test requirements for digital recorders. Digital recorders, like analogue oscilloscopes, are susceptible to changes in their characteristics. However, the more stringent testing (than is practical for analogue oscilloscopes) specified for digital recorders for standard impulse voltage and current measurement has led to the accuracy of digital recorders being more clearly demonstrated.

This part of IEC 61083 applies to software used to process digital records to provide the values of the relevant impulse parameters. The raw data are retained for comparison with the processed data. However, since the parameters of the test impulse (including the test value) are to be read from the processed data, it is important to establish tests to ensure that the reading of parameters is adequately performed. The problem is how to ensure this, while permitting users to develop a wide range of techniques.

This problem is further complicated by the different needs of various users, ranging from single-purpose test laboratories, for example those of a cable manufacturer who may only test a few objects which are capacitive, to large high-voltage test/research laboratories, which may perform tests on a very wide range of objects, which have a correspondingly wide range of impedances.

The approach taken in this part of IEC 61083 is to provide, from a test data generator software, waveforms (and ranges of their parameters) which a user can employ to verify that a procedure gives values within the specified ranges. To reduce the amount of testing required, the waveforms are divided into groups, and the user needs only to check those groups that are appropriate for the high-voltage and/or high-current tests to be performed in his/her laboratory.

New definitions for lightning impulse parameters and switching impulse time-to-peak evaluation are introduced in IEC 60060-1. The changes in these definitions have led to significant changes in some of the reference values in this standard. The number of impulse records in the test data generator has been increased to cover a wider range of impulse shapes seen in on-site testing.

INSTRUMENTS AND SOFTWARE USED FOR MEASUREMENT IN HIGH-VOLTAGE AND HIGH-CURRENT TESTS –

Part 2: Requirements for software for tests with impulse voltages and currents

1 Scope and object

This part of IEC 61083 is applicable to software used for evaluation of impulse parameters from recorded impulse voltages and currents. It provides test waveforms and reference values for the software required to meet the measuring uncertainties and procedures specified in IEC 60060-1, IEC 60060-2, IEC 60060-3 and IEC 62475.

Hardware with built-in firmware that cannot accept external numerical input data is not covered by this standard.

The object of this standard is to

- establish the tests which are necessary to show that the performance of the software complies with the requirements of the relevant IEC standards;
- define the terms specifically related to digital processing;
- specify reference values and the acceptance limits for the reference impulses;
- specify the requirements for the record of performance;
- define the methods to assess the contribution of software to the measurement uncertainty.

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 60060-1:2010, *High-voltage test techniques – Part 1: General definitions and test requirements*

IEC 60060-2, *High-voltage test techniques – Part 2: Measuring systems*

IEC 60060-3:2006, *High-voltage test techniques – Part 3: Definitions and requirements for on-site testing*

IEC 61083-1:2001, *Instruments and software used for measurement in high-voltage impulse tests – Part 1: Requirements for instruments*

IEC 62475:2010, *High-current test techniques – Definitions and requirements for test currents and measuring systems*

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

3 Terms and definitions

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

NOTE References to definitions of relevant impulse parameters, as shown in the relevant clauses of IEC 60060-1:2010, IEC 60060-3:2006 and IEC 62475:2010 are listed in Tables 1 and 2.

3.1

raw data

original record of sampled and quantized information obtained when a digital recorder converts an analogue signal into a digital form, possibly corrected for offset or multiplied by a scale factor

3.2

processed data

data obtained by any processing (other than correction for offset and/or multiplying by a scale factor) of the raw data

[SOURCE: IEC 61083-1:2001, definition 1.3.3.5, modified – "constant scale factor" replaced by "scale factor"; NOTE not retained]

3.3

internal noise level

standard deviation of the samples recorded when a constant voltage is applied to the input of the digital recorder

3.4

reference impulse

waveform supplied by the test data generator (TDG)

3.5

sampling rate

sampling frequency

number of samples of a signal taken per unit time

[SOURCE: IEC 60050-704:1993, definition 704-23-03]

3.6

resolution (in digital processing)

measure of the accuracy with which a digital system can distinguish between the magnitudes of two samples of a signal

Note 1 to entry: Resolution is usually expressed as the number of bits necessary to express in binary form the maximum number of possible different signal levels which can be recognized by the system.

[SOURCE: IEC 60050-807:1998, definition 807-01-02]

3.7

test data generator

TDG

computer program that generates digital reference data files, representative of synthesized and recorded impulse waveforms

Table 1 – References to impulse voltage parameter definitions

	IEC 60060-1:2010								IEC 60060-3:2006				
	U_t	T_p	β	T_1	T_c	T_2	U_e	Average rate of rise	U_t	T_p	T_1	T_2	f
<i>Impulse group/ Evaluation algorithm</i>	Value of the test voltage	Time to peak	Relative overshoot magnitude	Front time	Time to chopping	Time to half-value	Extreme value		Value of the test voltage	Time to peak	Front time	Time to half-value	Oscillation frequency
Full lightning impulse voltage (LI)	7.1.15, Annex B		7.1.17, Annex B	7.1.18, Annex B		7.1.22, Annex B	7.1.9	7.1.20	(7.2.4)		(7.2.5)	(7.2.7)	
Front chopped lightning impulse voltage (LIC-A1, LIC-M1 to LIC-M3)	7.1.15, 7.2.6				7.1.27		7.1.9	7.1.20					
Tail chopped lightning impulse voltage (LIC-M4 to LIC-M5)	7.1.15, Annex B		7.1.17, Annex B	7.1.18, Annex B	7.1.27, Annex B		7.1.9	7.1.20					
Switching impulse voltage (SI)	8.1.2	8.1.3				8.1.5			(8.2.3)	(8.2.4)		(8.2.5)	
Oscillating lightning impulse voltage (OLI)									7.2.4		7.2.5	7.2.7	8.2.6
Oscillating switching impulse voltage (OSI)									8.2.3	8.2.4		8.2.5	8.2.6
NOTE Some definitions of parameters (shown in parenthesis) in IEC 60060-3:2006 are different from those in IEC 60060-1:2010. For IEC 60060-3, reference values are only provided for oscillating lightning and oscillating switching impulse parameters.													

Table 2 – References to impulse current parameter definitions

Impulse group / Evaluation algorithm	IEC 62475:2010				
	I_p Peak value of current	T_1 Front time	T_2 Time to half-value	T_d Duration	T_t Total duration
Exponential impulse current (IC-M1 to IC-M7, IC-M9)	10.2.3	10.2.4	10.2.6		
Rectangular impulse current (IC-M8)	10.2.3			10.2.7	10.2.8

4 Test data generator (TDG)

4.1 Principle

The test data generator (TDG) is a computer program that generates digital reference data files, representative of both synthetic and recorded impulse waveforms. These reference impulses shall be processed by the software under test, and the parameters evaluated from the processed data shall fall within the acceptance limits given in Annex A. In this way the performance of the software can be verified.

The TDG is an integral part of this standard and is provided as compiled code for a computer running Windows¹ operating system. TDG is a menu-driven program with a built-in help file.

4.2 Data format

The reference data files generated by the TDG simulate the raw data, which would be obtained from the digital recorder of the user. The reference data files are written in a two column ASCII format. Their respective values are given in terms of seconds and in volts or amperes. If the data format or range expected by the software under test does not correspond to the format or range provided by the TDG, a suitable conversion program shall be used.

NOTE Software which cannot read TDG reference impulses (either in the direct or converted form) is not covered by this standard.

5 Values and acceptance limits for the parameters of the reference impulses

A round-robin test has been performed, in which a number of laboratories independently calculated values for parameters of the reference impulses. Statistical mean values from this round-robin test were taken as the reference values of the parameters listed in Tables 1 and 2.

Requirements for acceptance limits have been set based on the needs of the application.

These parameters of the reference impulses are given in Tables A.1 to A.6.

6 Software testing

6.1 General

The TDG is designed to provide data files simulating digital recorder output for the purpose of testing software used to determine the impulse parameters as defined in IEC 60060-1,

¹ Windows is the trade name of a product supplied by Microsoft. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of the product named. Equivalent products may be used if they can be shown to lead to the same results.

IEC 60060-3 and IEC 62745. The references to relevant clauses of these standards are listed in Tables 1 and 2.

The impulses in the TDG are grouped in six groups, according to the impulse type:

- LI: full lightning impulse;
- LIC: front or tail chopped lightning impulse;
- SI: switching impulse;
- IC: impulse current;
- OLI: oscillating lightning impulse;
- OSI: oscillating switching impulse.

6.2 Performance test

The performance test for an algorithm is executed by evaluating all reference impulses in the selected group, for example, group LI.

The performance test shall be performed for each version of the evaluation algorithm and for a set of sampling rates, resolutions and noise levels relevant for the application.

Evidence that the evaluation algorithm actually used during tests is the same as the version that has been verified according to this standard (and for which results are entered in the record of performance) shall be entered into the record of performance.

The performance test can be performed either for one, several or all evaluation algorithm(s) referred to in Tables 1 and 2.

The settings of the TDG shall be chosen to match the settings of the digital recorder (or recorders) that is to be used with the software. These include selection of sampling rate, resolution and internal noise level. The resulting TDG record simulates the output of this digital recorder when recording the selected reference impulse. The reference impulses are shown in Annex A.

Each reference impulse for the evaluation algorithm selected by the user is generated by the TDG and represents input to the software instead of an actual output of the digital recorder. The values of the parameters determined by the software under test are compared to the acceptance limits given in Annex A. The software under test is judged to have passed the test for a group if the values of the parameters calculated by the software under test are within the specified acceptance limits for all impulses in that group.

6.3 Uncertainty contribution for IEC 60060-2 and/or IEC 62475

The calculation of the uncertainty of high-voltage measurement according to IEC 60060-2 and high-current measurement according to IEC 62475 includes a contribution due to the uncertainty of the applied software. This is derived from the acceptance limits of the considered parameters (Annex A). By a simplified procedure, the standard uncertainty contribution of the software for a certain parameter may be taken as a type B estimate from the maximum value of the half-width of the acceptance limit of the relevant waveforms ($i = 1 \dots n$) shown in Annex A:

$$u_{B7} = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{i=1}^n (\text{half - width of the acceptance limit}).$$

These standard uncertainty contributions are listed in Table 3.

NOTE 1 For the terms and definitions see IEC 60060-2:2010 or IEC 62475:2010, especially 3.6, 4.6, 5.9 and Annex A in either standard. The symbol u_{B7} follows the numbering used in both those standards (5.2.1.3 to 5.9).

NOTE 2 The acceptance range of the measured parameter according to this standard is the reference value plus/minus its acceptance limit given in Annex A.

Table 3 – Standard uncertainty contributions of software to the overall uncertainty according to the simplified procedure

Impulse group/ Evaluation algorithm	U_t, U_p, I_p %	T_1, T_p, T_d %	T_2, T_t %	β' %
LI	0,058	1,2	0,58	0,58
LIC	0,58	1,2	1,2	0,58
SI	0,29	2,9	1,2	
IC	0,58	1,2	1,2	
OLI	0,29	1,2	1,2	
OSI	0,29	1,2	1,2	

When software is used for the evaluation of different types of waveforms (see Tables 1 and 2), a different standard uncertainty may be applied for each type.

If the estimated standard uncertainty becomes too large, the method of Annex B, or any method in line with ISO/IEC Guide 98-3 can be used.

7 Record of performance of the software

A list of evaluation algorithms for which software is validated shall be specified in the record of performance of the measuring system (see IEC 61083-1 and IEC 60060-2).

The record of performance shall include:

- version number of the TDG and its relevant settings;
- name of the tested software, its version number and release date;
- the type(s) of the algorithm(s) for which the tests were performed;
- list of parameters for which the software was tested and passed.

Annex A

(normative)

Reference values and acceptance limits for the parameters of TDG impulses

Table A.1 – Reference values and their acceptance limits for full lightning impulses (LI) (1 of 6)

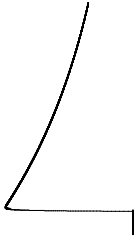
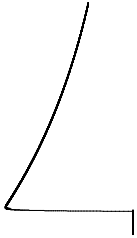
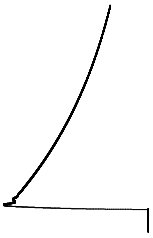
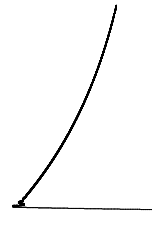
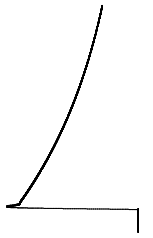
Designation in test data generator	Reference impulse 	Description	U_t		T_1		T_2		β'	
			Reference value kV	Acceptance limit % of U_t	Reference value μs	Acceptance limit % of T_1	Reference value μs	Acceptance limit % of T_2	Reference value %	Acceptance limit %, abs.
LI-A1		Superposition of two ideal exponential functions	1 049,6	$\pm 0,10$	0,840	± 2	60,16	$\pm 1,0$	0,0	$\pm 1,0$
LI-A2		Slow oscillations	1 037,6	$\pm 0,10$	1,693	± 2	47,48	$\pm 1,0$	5,1	$\pm 1,0$
LI-A3		Fast oscillations	1 000,2	$\pm 0,10$	1,117	± 2	48,15	$\pm 1,0$	4,6	$\pm 1,0$
LI-A4		Overshoot 8 %, $f = 500 \text{ kHz}$	856,01	$\pm 0,10$	0,841	± 2	47,80	$\pm 1,0$	7,9	$\pm 1,0$

Table A.1 (2 of 6)

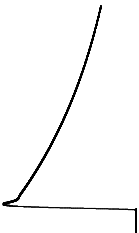
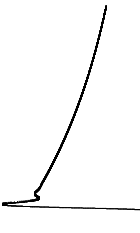
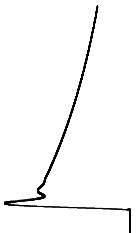
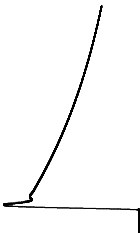
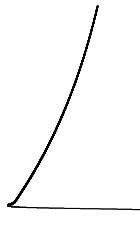
Designation in test data generator	Reference impulse	Description	U_t		T_1		T_2		β'	
			Reference value kV	Acceptance limit % of U_t	Reference value μ s	Acceptance limit % of T_1	Reference value μ s	Acceptance limit % of T_2	Reference value %	Acceptance limit %, abs.
LI-A5		Overshoot 8 %, $f = 200$ kHz	71,972	$\pm 0,10$	1,711	± 2	47,71	$\pm 1,0$	7,7	$\pm 1,0$
LI-A6		Overshoot 18 %, $f = 200$ kHz	100,17	$\pm 0,10$	1,762	± 2	41,58	$\pm 1,0$	17,7	$\pm 1,0$
LI-A7		Overshoot 20 %, $f = 200$ kHz	104,35	$\pm 0,10$	2,122	± 2	38,36	$\pm 1,0$	20,1	$\pm 1,0$
LI-A8		Overshoot 15 %, $f = 250$ kHz	96,012	$\pm 0,10$	1,503	± 2	44,92	$\pm 1,0$	14,8	$\pm 1,0$
LI-A9		Overshoot 4 %, $f = 300$ kHz	55,928	$\pm 0,10$	1,215	± 2	55,74	$\pm 1,0$	4,0	$\pm 1,0$

Table A.1 (3 of 6)

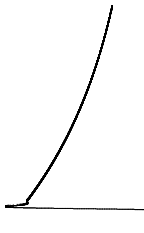
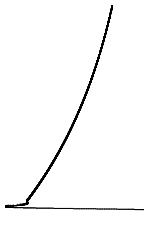
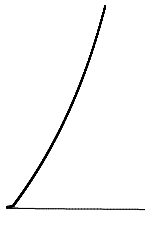
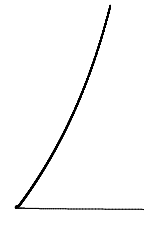
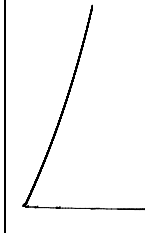
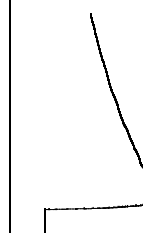
Designation in test data generator	Reference impulse 	Description	U_t		T_1		T_2		β'	
			Reference value kV	Acceptance limit % of U_t	Reference value μ S	Acceptance limit % of T_1	Reference value μ S	Acceptance limit % of T_2	Reference value %	Acceptance limit %, abs.
LI-A10		Overshoot 12 %, $f = 400$ kHz	81,929	$\pm 0,10$	0,924	± 2	42,66	$\pm 1,0$	12,0	$\pm 1,0$
LI-A11		Overshoot 4 %, $f = 800$ kHz	86,597	$\pm 0,10$	0,578	± 2	56,37	$\pm 1,0$	4,1	$\pm 1,0$
LI-A12		Overshoot 2 %, $f = 900$ kHz	85,584	$\pm 0,10$	0,587	± 2	57,36	$\pm 1,0$	2,3	$\pm 1,0$
LI-M1		Front oscillations	952,09	$\pm 0,10$	1,123	± 2	85,60	$\pm 1,0$	2,1	$\pm 1,0$
LI-M2		Long duration overshoot	-1 041,7	$\pm 0,10$	3,356	± 2	61,25	$\pm 1,0$	9,2	$\pm 1,0$

Table A.1 (4 of 6)

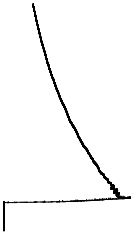
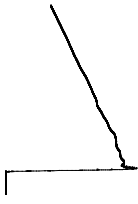
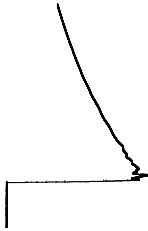
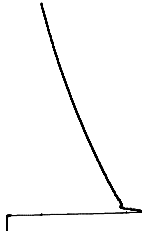
Designation in test data generator	Reference impulse	Description	U_t		T_1		T_2		β'	
			Reference value kV	Acceptance limit % of U_t	Reference value μ s	Acceptance limit % of T_1	Reference value μ s	Acceptance limit % of T_2	Reference value %	Acceptance limit %, abs.
LI-M3		Short duration overshoot	-1 026,5	$\pm 0,10$	2,150	± 2	41,75	$\pm 1,0$	9,2	$\pm 1,0$
LI-M4		Oscillations, transformer testing	-267,14	$\pm 0,10$	0,987	± 2	56,22	$\pm 1,0$	4,8	$\pm 1,0$
LI-M5		Oscillations, transformer testing	-55,003	$\pm 0,10$	2,746	± 2	42,11	$\pm 1,0$	18,7	$\pm 1,0$
LI-M6		Oscillations, transformer testing	-166,87	$\pm 0,10$	1,356	± 2	54,74	$\pm 1,0$	3,8	$\pm 1,0$
LI-M7		Oscillations, transformer testing	-1 272,3	$\pm 0,10$	1,482	± 2	50,03	$\pm 1,0$	11,2	$\pm 1,0$

Table A.1 (5 of 6)

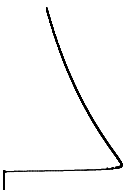
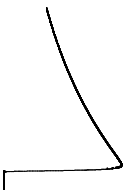
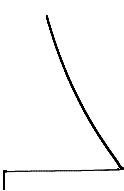
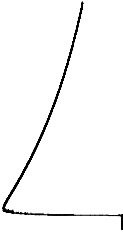
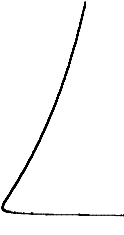
Designation in test data generator	Reference impulse 	Description	U_t		T_1		T_2		β'	
			Reference value kV	Acceptance limit % of U_t	Reference value μs	Acceptance limit % of T_1	Reference value μs	Acceptance limit % of T_2	Reference value %	Acceptance limit %, abs.
LI-M8		Long front, smooth	-99,732	$\pm 0,10$	1,515	± 2	49,36	$\pm 1,0$	-0,5	$\pm 1,0$
LI-M9		Short front, some overshoot	-100,04	$\pm 0,10$	0,828	± 2	46,65	$\pm 1,0$	1,4	$\pm 1,0$
LI-M10		Heavy front oscillations	100,26	$\pm 0,10$	1,666	± 2	60,85	$\pm 1,0$	0,0	$\pm 1,0$
LI-M11		Heavy front oscillations	299,32	$\pm 0,10$	1,661	± 2	60,95	$\pm 1,0$	-0,5	$\pm 1,0$
LI-M12		Changing offset level, oscillations at peak	-4,319 3	$\pm 0,10$	1,292	± 2	52,27	$\pm 1,0$	-1,8	$\pm 1,0$

Table A.1 (6 of 6)

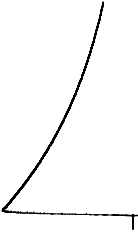
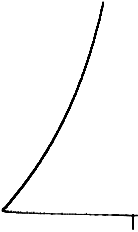
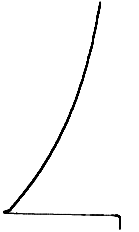
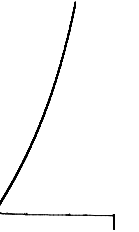
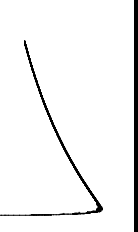
Designation in test data generator	Reference impulse 	Description	U_t		T_1		T_2		β'	
			Reference value kV	Acceptance limit % of U_t	Reference value μs	Acceptance limit % of T_1	Reference value μs	Acceptance limit % of T_2	Reference value %	Acceptance limit %, abs.
LI-M13		Oscillations after onset	39,460	$\pm 0,10$	1,537	± 2	46,94	$\pm 1,0$	1,8	$\pm 1,0$
LI-M14		Oscillations after onset, and overshoot	48,549	$\pm 0,10$	0,933	± 2	37,48	$\pm 1,0$	4,3	$\pm 1,0$
LI-M15		Oscillations after onset, and overshoot	497,97	$\pm 0,10$	1,017	± 2	59,19	$\pm 1,0$	-0,1	$\pm 1,0$
LI-M16		Front oscillations	369,21	$\pm 0,10$	0,920	± 2	47,53	$\pm 1,0$	0,8	$\pm 1,0$
LI-M17		Heavy oscillations at front and peak	-99,346	$\pm 0,10$	1,775	± 2	53,31	$\pm 1,0$	1,3	$\pm 1,0$

Table A.2 – Reference values and their acceptance limits for chopped lightning impulses (LIC) (1 of 2)

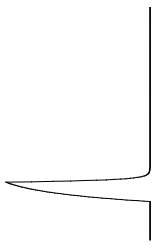
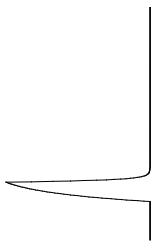
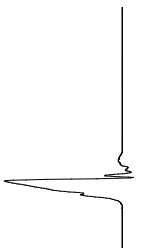
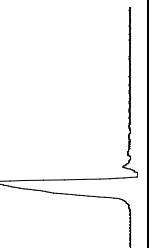
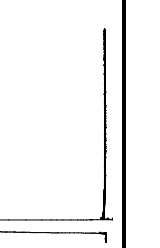
Designation in test data generator	Reference impulse 	Description	U_p, U_t		T_1		T_c		β'	
			Reference value kV	Acceptance limit % of U_p or U_t	Reference value μs	Acceptance limit % of T_1	Reference value μs	Acceptance limit % of T_c	Reference value %	Acceptance limit %, abs.
LIC-A1		Front chopped lightning impulse	872,2	$\pm 1,0$			0,543	± 2		
LIC-M1		Front oscillations, chopped	850,0	$\pm 1,0$			0,569	± 2		
LIC-M2		Front chopped	0,289 0	$\pm 1,0$			0,514	± 2		
LIC-M3		Front chopped	-0,303 6	$\pm 1,0$			0,568	± 2		
LIC-M4		Tail chopped	0,147 8	$\pm 1,0$	1,305	± 2	6,00	± 2	-0,2	± 1

Table A.2 (2 of 2)

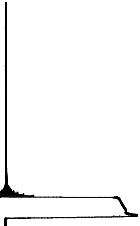
Designation in test data generator	Reference impulse	Description	U_p, U_t		T_1		T_c		β'	
			Reference value kV	Acceptance limit % of U_p or U_t	Reference value μ s	Acceptance limit % of T_1	Reference value μ s	Acceptance limit % of T_c	Reference value %	Acceptance limit %, abs.
LIC-M5		Tail chopped	-389,9	$\pm 1,0$	0,857	± 2	9,24	± 2	6,8	± 1

Table A.3 – Reference values and their acceptance limits for switching impulses (SI)

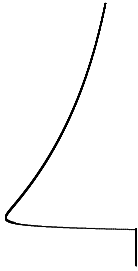
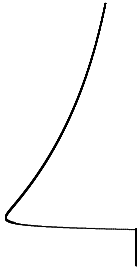
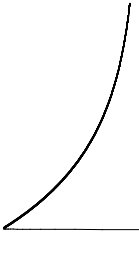
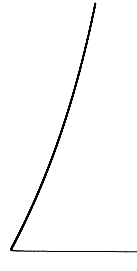
Designation in test data generator	Reference impulse 	Description	U_p		T_p		T_2	
			Reference value kV	Acceptance limit % of U_p	Reference value μs	Acceptance limit % of T_p	Reference value μs	Acceptance limit % of T_2
SI-A1		Switching impulse, 250/2 500	950,28	$\pm 0,10$	250,7	± 2	2 512	± 2
SI-A2		Switching impulse, 20/1 300	0,987 67	$\pm 0,10$	19,89	± 2	1 321	± 2
SI-A3		Switching impulse, 43/4 000	99,219	$\pm 0,10$	43,08	± 2	3 987	± 2
SI-M1		Measured during transformer test	-0,590 7	$\pm 0,5$	186,6	± 5	655	± 2
SI-M2		Measured switching impulse	3,680	$\pm 0,5$	218	± 5	2 407	± 2

Table A.4 – Reference values and their acceptance limits for current impulses (IC) (1 of 2)

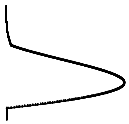
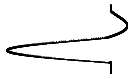
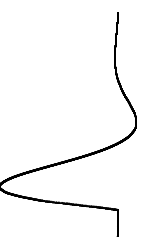
Designation in test data generator	Reference impulse	Description	I_p		T_1, T_d		T_2, T_t	
			Reference value kA	Acceptance limit % of I_p	Reference value μs	Acceptance limit % of T_1 or T_d	Reference value μs	Acceptance limit % of T_2 or T_t
IC-M1		Impulse current, 8/20	-10,001	$\pm 0,2$	8,82	± 2	21,31	± 2
IC-M2		Impulse current, 4/10	100,42	$\pm 0,2$	4,237	± 2	9,13	± 2
IC-M3		Impulse current, 8/20	64,28	$\pm 0,2$	7,75	± 2	20,53	± 2
IC-M4		Impulse current, 10/350	100,00	$\pm 0,2$	23,47	± 2	398,9	± 2
IC-M5		Impulse current Ah-component	150,01	$\pm 0,2$	17,09	± 2	48,34	± 2

Table A.4 (2 of 2)

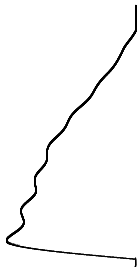
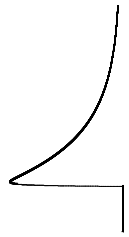
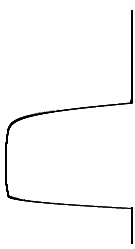
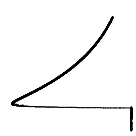
Designation in test data generator	Reference impulse	Description	I_p		T_1, T_d		T_2, T_t	
			Reference value kA	Acceptance limit % of I_p	Reference value μs	Acceptance limit % of T_1 or T_d	Reference value μs	Acceptance limit % of T_2 or T_t
IC-M6		Impulse current 30/300	12,464	$\pm 0,2$	27,91	± 2	274,0	± 2
IC-M7		Impulse current 1/15	20,495	$\pm 0,2$	1,009	± 2	17,65	± 2
IC-M8		Rectangular impulse current	0,229 4	$\pm 1,0$	2 051	± 2	2 678	± 2
IC-M9		Impulse current 1/15	10,156	$\pm 0,2$	0,968	± 2	17,68	± 2

Table A.5 – Reference values and their acceptance limits for oscillating lightning impulses (OLI)

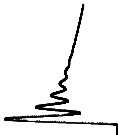
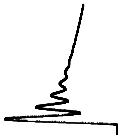
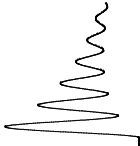
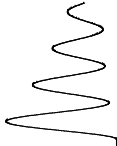
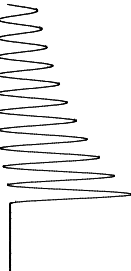
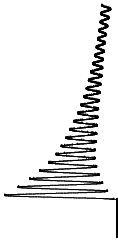
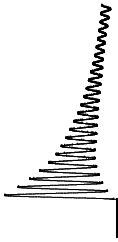
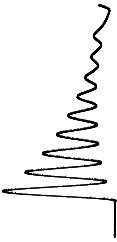
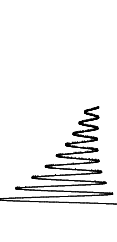
Designation in test data generator	Reference impulse 	Description	U_p		T_1		T_2	
			Reference value kV	Acceptance limit % of U_p	Reference value μs	Acceptance limit % of T_1	Reference value μs	Acceptance limit % of T_2
OLI-M1		Oscillating lightning impulse, $f = 110 \text{ kHz}$	203,3	$\pm 0,5$	3,280	± 2	32,89	± 2
OLI-M2		Oscillating lightning impulse, $f = 60 \text{ kHz}$	203,1	$\pm 0,5$	5,80	± 2	52,0	± 2
OLI-M3		Oscillating lightning impulse, $f = 35 \text{ kHz}$	201,7	$\pm 0,5$	9,68	± 2	83,0	± 2
OLI-M4		Oscillating lightning impulse, $f = 70 \text{ kHz}$	-809,9	$\pm 0,5$	4,935	± 2	69,1	± 2

Table A.6 – Reference values and their acceptance limits for oscillating switching impulses (OSI)

Designation in test data generator	Reference impulse 	Description	U_p		T_p		T_2	
			Reference value kV	Acceptance limit % of U_p	Reference value μs	Acceptance limit % of T_p	Reference value μs	Acceptance limit % of T_2
OSI-M1		Oscillating switching impulse, $f = 4,7 \text{ kHz}$	204,2	$\pm 0,5$	110,7	± 2	134 6	± 2
OSI-M2		Oscillating switching impulse, $f = 2,0 \text{ kHz}$	202,9	$\pm 0,5$	248,9	± 2	177 9	± 2
OSI-M3		Oscillating switching impulse, $f = 3,6 \text{ kHz}$	784,6	$\pm 0,5$	144,7	± 2	136 5	± 2
OSI-M4		Oscillating switching impulse, $f = 8,3 \text{ kHz}$	-1 521,1	$\pm 0,5$	63,2	± 2	121 5	± 2

Annex B (informative)

Alternative method for uncertainty estimation

B.1 Uncertainty of reference values

The reference values are based on the average results from a number of software packages provided by members of the maintenance team. Each software package was independently developed to implement the definitions of IEC 60060-1, IEC 60060-3 and IEC 62475.

The outcome of this evaluation process is presented in Tables B.1 to B.6. The reference value of a parameter is the mean value $\bar{x}$ of n independent evaluations of this parameter:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k .$$

The experimental standard deviation of these n independent observations is

$$s(x_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} .$$

The expanded uncertainty is

$$U_x = t \times \frac{s(x_k)}{\sqrt{n}} ,$$

where t is a factor from the t -distribution leading to confidence level of about 95 % ($k = 2$).

NOTE Samples which deviated by more than 3 times of standard deviation of the sample population were not included in calculating the mean value $\bar{x}$ and its expanded uncertainty U_x .

The acceptance limits in Tables A.1 to A.6 should be higher than the evaluated standard uncertainties; on the other hand they should be lower than the overall uncertainty limits set for measuring systems in IEC 60060-2 and IEC 62475. The values in Tables A.1 to A.6 fall between these limits.

B.2 Contribution of software to the uncertainty estimate of IEC 60060-2

Instead of using the acceptance limits in 6.3, the differences between the reference values x_{REF} and the values evaluated by the software under test can be used as basis for the uncertainty estimation.

After identifying the n waveforms relating to the algorithm of the software to be qualified, the maximum observed difference from the reference value can be used to obtain the first component for standard uncertainty:

$$u_{B71} = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{i=1}^n \left| \frac{x_i - x_{\text{REF},i}}{x_{\text{REF},i}} \right|$$

or in the case of β' , when the uncertainty is given in absolute terms:

$$u_{B71} = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{i=1}^n |\beta'_i - \beta'_{\text{REF},i}|$$

In addition, the uncertainty of the reference values should be considered. For this purpose the mean ($\bar{x}$), expanded uncertainty (U_x) and the number of observations (n) of the determination of each reference value are listed in Tables B.1 to B.6. In the tables the expanded uncertainty is given on confidence level of c. 95 % ($k = 2$).

This component for the standard uncertainty is given by

$$u_{B72} = \frac{1}{2} \max_{i=1}^n U_{x,i}$$

where $U_{x,i}$ are the expanded uncertainties for $x_{\text{REF},i}$.

The standard uncertainty of the software is given by

$$u_{B7} = \sqrt{u_{B71}^2 + u_{B72}^2}$$

Table B.1 – Expanded uncertainties (U_x) of the lightning impulse reference values (1 of 2)

LI	U_t			T_1			T_2			β'			U_e			Average rate of rise kV/ μ s		
	$\bar{x}$ kV	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ %	U_x %, abs.	n	$\bar{x}$ kV	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ kV/ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n
LI-A1	1 049,60	0,002	8	0,839 84	0,011	8	60,156	0,003	8	0,001	0,003	5	1 049,588	0,000 1	6	1 193	0,5	3
LI-A2	1 037,63	0,008	8	1,693	0,12	8	47,479	0,011	8	5,14	0,02	7	1 049,906	0,000 7	6	547	0,7	3
LI-A3	1 000,2	0,02	8	1,117	0,3	8	48,15	0,04	8	4,575	0,007	7	1 023,67	0,002	6	914	0,2	3
LI-A4	856,01	0,005	8	0,841	0,3	8	47,802	0,012	8	7,88	0,02	7	874,260	0,000 0	6	1 020	1,0	3
LI-A5	71,972	0,006	8	1,711	0,3	8	47,705	0,02	8	7,74	0,05	7	72,536 0	0,000 0	6	43,30	0,14	3
LI-A6	100,170	0,005	8	1,762	0,4	8	41,576	0,02	8	17,73	0,02	7	101,930 0	0,000 0	6	59,66	0,2	3
LI-A7	104,349	0,011	8	2,122	0,5	8	38,36	0,04	8	20,15	0,07	7	105,878 6	0,000 7	6	51,7	0,3	3
LI-A8	96,012	0,009	8	1,503	0,3	8	44,924	0,02	8	14,75	0,03	7	97,812 8	0,000 6	6	66,3	0,6	3
LI-A9	55,928	0,007	8	1,215 2	0,12	8	55,737	0,015	8	4,02	0,02	7	56,271 0	0,000 0	6	47,0	0,4	3
LI-A10	81,929	0,009	8	0,924	0,4	8	42,659	0,02	8	12,01	0,05	7	84,338 0	0,000 0	6	89,5	0,4	3
LI-A11	86,597	0,004	8	0,578	0,3	8	56,367	0,009	8	4,066	0,010	7	87,902 7	0,0002	6	149	1,4	3
LI-A12	85,584	0,004	8	0,587 4	0,2	8	57,358	0,009	8	2,267	0,007	7	86,194 0	0,0000	6	147,4	0,8	3
LI-M1	952,09	0,007	8	1,123	0,4	8	85,603	0,02	8	2,082	0,003	7	960,13	0,005	6	845	0,6	3
LI-M2	-1041,7	0,015	8	3,356	0,09	8	61,249	0,006	8	9,18	0,02	7	-1 070,04	0,008	6	-267,2	0,5	3
LI-M3	-1026,5	0,02	8	2,150	0,13	8	41,749	0,015	8	9,17	0,02	7	-1 070,07	0,006	6	-399,4	0,3	3
LI-M4	-267,14	0,03	7	0,987	0,4	6	56,22	0,06	7	4,82	0,02	5	-276,986	0,003	6	-266,3	0,15	3
LI-M5	-55,003	0,010	8	2,746	0,4	8	42,11	0,05	8	18,71	0,08	7	-56,401	0,015	6	-20,66	0,3	3
LI-M6	-166,865	0,005	8	1,355 6	0,02	8	54,739	0,007	8	3,837	0,014	7	-169,921	0,001	6	-119,9	0,5	3
LI-M7	-1 272,3	0,02	8	1,482	0,3	8	50,03	0,05	8	11,20	0,04	7	-1 296,6	0,013	6	-907	1,0	3
LI-M8	-99,732	0,004	8	1,514 7	0,08	8	49,358	0,004	8	-0,55	0,02	7	-99,709	0,002	6	-65,0	0,3	3
LI-M9	-100,035	0,006	8	0,828 3	0,08	8	46,654	0,02	8	1,382	0,007	7	-100,761	0,004	6	-119,4	0,6	3
LI-M10	100,258	0,004	8	1,666	0,09	8	60,853	0,003	8	-0,007	0,011	6	100,867	0,003	6	48,7	2	3
LI-M11	299,324	0,004	8	1,661 1	0,07	8	60,946	0,005	8	-0,457	0,002	7	300,482	0,002	6	161,9	0,3	3

Table B.1 (2 of 2)

LI	U_t			T_1			T_2			β'			U_e			Average rate of rise kV/ μ s		
	$\bar{x}$ kV	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ %	U_x %, abs.	n	$\bar{x}$ kV	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ kV/ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n
LI-M12	-4,319 3	0,008	8	1,292	0,2	8	52,266	0,011	8	-1,76	0,05	7	-4,326 09	0,003	6	-3,35	2	3
LI-M13	39,460	0,004	8	1,537	0,2	8	46,937	0,013	8	1,763	0,014	7	39,605 1	0,002	6	26,12	0,2	3
LI-M14	48,549	0,012	8	0,933	0,2	7	37,479	0,04	8	4,27	0,04	7	49,213	0,015	6	54,4	0,5	3
LI-M15	497,97	0,005	8	1,016 6	0,11	8	59,187	0,007	8	-0,08	0,02	7	499,945	0,002	6	477	0,6	3
LI-M16	369,21	0,005	8	0,919 8	0,10	8	47,531	0,010	8	0,833	0,006	7	371,709	0,003	6	390	4	3
LI-M17	-99,346	0,003	8	1,774 7	0,04	7	53,312 4	0,002	8	1,327	0,003	7	-101,21	0,05	6	-45,8	1,1	3

Table B.2 – Expanded uncertainties (U_x) of the chopped lightning impulse reference values

LIC	U_p, U_t			T_1			T_c			β'			U_e			Average rate of rise V/ μ s		
	$\bar{x}$ kV	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ %	U_x %, abs.	n	$\bar{x}$ kV	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ kV/ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n
LIC-A1	872,21	0,005	5				0,543 01	0,005	5									
LIC-M1	850,0	0,07	5				0,569 1	0,12	5									
LIC-M2	0,289 03	0,02	5				0,514	0,4	5									
LIC-M3	-0,303 60	0,02	4				0,567 9	0,2	5									
LIC-M4	0,147 81	0,03	6	1,305	0,6	6	6,00	0,3	6	-0,16	0,05	5	0,1480	0,2	4	0,114	3	3
LIC-M5	-389,9	0,05	6	0,857	0,9	5	9,24	0,2	6	6,85	0,04	5	-397,8	0,04	4	-452	3	3

Table B.3 – Expanded uncertainties (U_x) of the switching impulse reference values

SI	U_p			T_p			T_2		
	$\bar{x}$ kV	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n
SI-A1	950,28	0,004	6	251	0,8	5	2 512,5	0,02	6
SI-A2	0,987 67	0,004	6	19,9	2	5	1 320,79	0,009	6
SI-A3	99,218 6	0,001 3	6	43,1	2	5	3 987,3	0,011	6
SI-M1	–0,590 7	0,11	6	187	3	6	655	1,4	6
SI-M2	3,680	0,13	6	218	4	5	2 410	2	6

Table B.4 – Expanded uncertainties (U_x) of the impulse current reference values

IC	I_p			T_1			T_2		
	$\bar{x}$ kA	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n
IC-M1	–10,001	0,08	6	8,822	0,03	6	21,313	0,02	6
IC-M2	100,418	0,009	6	4,237 12	0,003	5	9,1273	0,004	5
IC-M3	64,281	0,011	6	7,747 1	0,010	6	20,533	0,013	6
IC-M4	100,001	0,003	6	23,470	0,007	6	399	0,6	6
IC-M5	150,01	0,05	6	17,09	0,5	6	48,34	0,3	6
IC-M6	12,464	0,02	6	27,914	0,008	6	274,014	0,004	6
IC-M7	20,495	0,02	6	1,009	0,3	6	17,648	0,06	6
IC-M8	0,229 37	0,04	5	2 050,54	0,007	5	2 678,3	0,009	5
IC-M9	10,155 8	0,009	4	0,967 6	0,06	5	17,68	0,3	5

Table B.5 – Expanded uncertainties (U_x) of the oscillating lightning impulse reference values

OLI	U_p			T_1			T_2			f		
	$\bar{x}$ kV	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ Hz	U_x % of $\bar{x}$	n
OLI-M1	203,3	0,14	6	3,280	0,3	6	32,9	0,8	6	111,3	0,8	6
OLI-M2	203,1	0,10	6	5,802	0,13	6	52,0	0,7	6	60,9	0,3	6
OLI-M3	201,7	0,10	6	9,68	0,2	6	83,0	0,5	6	36,4	0,5	6
OLI-M4	–809,9	0,11	6	4,935	0,2	6	69,1	0,3	6	71,9	0,3	6

Table B.6 – Expanded uncertainties (U_x) of the oscillating switching impulse reference values

OSI	U_p			T_p			T_2			f		
	$\bar{x}$ kV	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % of $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ Hz	U_x % of $\bar{x}$	n
OSI-M1	204,2	0,2	6	110,7	0,3	5	1 346	0,7	6	4,721	0,15	6
OSI-M2	202,9	0,10	6	248,9	0,2	5	1 780	1,3	6	2,048	0,4	6
OSI-M3	784,6	0,09	6	144,72	0,10	5	1 370	1,3	6	3,55	1,1	6
OSI-M4	–1 521	0,13	6	63,2	0,3	5	1 215	1,0	6	8,33	0,9	6

B.3 Example

B.3.1 General

The software related standard uncertainty u_{B7} for the peak value of chopped lightning impulses shall be determined. The related waveforms in Annex A are LIC-A1 and LIC-M1 to M5. Table B.7 shows

- the reference values and acceptance limits from Annex A;
- the expanded uncertainty values from Annex B; and
- the values evaluated by the software under test and their deviation from reference values.

Table B.7 – Example of uncertainty estimation

Waveform	Reference value (from Table A.2)	Acceptance limit (from Table A.2)	Expanded uncertainty of the reference value (from Table B.2)	Evaluated value	Deviation from reference value
	x_{REFi} kV	%	U_i %	x_i kV	$\left \frac{x_i - x_{REFi}}{x_{REFi}} \right $ %
LIC-A1	872,2	1,0	0,005	873,4	0,14
LIC-M1	850,0	1,0	0,07	851,4	0,16
LIC-M2	0,289 0	1,0	0,02	0,288	0,36
LIC-M3	–0,303 6	1,0	0,02	–0,303 9	0,10
LIC-M4	0,147 8	1,0	0,03	0,148 3	0,33
LIC-M5	389,9	1,0	0,05	–391	0,28
Max. value			0,07		0,36

B.3.2 Estimation according to 6.3

All deviations from reference values fall within acceptance limits. Resulting uncertainty contribution is

$$u_{B7} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 1\% = 0,58\%$$

B.3.3 Estimation according to Annex B

Lower uncertainty contribution can be reached by considering the uncertainties of the reference values and the deviations from them. According to this annex we get:

$$u_{B71} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 0,36 \% = 0,21 \%,$$

$$u_{B72} = \frac{1}{2} \times 0,07 \% = 0,04 \% \text{ and}$$

$$u_{B7} = \sqrt{u_{B71}^2 + u_{B72}^2} = \sqrt{0,21\%^2 + 0,04\%^2} = 0,21\% .$$

Bibliography

IEC 60050-704:1993, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 704: Transmission*

IEC 60050-807:1998, *International Electrotechnical Vocabulary – Part 807: Digital recording of audio and video signals*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	36
INTRODUCTION.....	38
1 Domaine d'application et objet.....	39
2 Références normatives.....	39
3 Termes et définitions	40
4 Générateur de données numériques d'essai (TDG)	42
4.1 Principe.....	42
4.2 Format des données.....	42
5 Valeurs et limites d'acceptation pour les paramètres des chocs de référence	42
6 Essai du logiciel	43
6.1 Généralités.....	43
6.2 Essai de détermination des caractéristiques.....	43
6.3 Contribution à l'incertitude selon la CEI 60060-2 et/ou la CEI 62475	43
7 Fiche de caractéristiques du logiciel.....	44
Annexe A (normative) Valeurs de référence et limites d'acceptation pour les paramètres des chocs du TDG.....	45
Annexe B (informative) Autre méthode d'estimation de l'incertitude	58
Bibliographie.....	65
Tableau 1 – Références aux définitions des paramètres de tension de choc	41
Tableau 2 – Références aux définitions des paramètres de courant de choc.....	42
Tableau 3 – Contributions à l'incertitude normalisée du logiciel par rapport à l'incertitude totale selon la procédure simplifiée	44
Tableau A.1 – Valeurs de référence et leurs limites d'acceptation pour les chocs de foudre pleins (LI) (1 de 6)	45
Tableau A.2 – Valeurs de référence et leurs limites d'acceptation pour les chocs de foudre coupés (LIC) (1 de 2)	51
Tableau A.3 – Valeurs de référence et leurs limites d'acceptation pour les chocs de manœuvre (SI).....	53
Tableau A.4 – Valeurs de référence et leurs limites d'acceptation pour les courants de choc (IC) (1 de 2).....	54
Tableau A.5 – Valeurs de référence et leurs limites d'acceptation pour les chocs de foudre oscillants (OLI)	56
Tableau A.6 – Valeurs de référence et leurs limites d'acceptation pour les chocs de manœuvre oscillants (OSI)	57
Tableau B.1 – Incertitudes élargies (U_X) des valeurs de référence pour un choc de foudre (1 de 2).....	60
Tableau B.2 – Incertitudes élargies (U_X) des valeurs de référence pour un choc de foudre coupé.....	61
Tableau B.3 – Incertitudes élargies (U_X) des valeurs de référence pour un choc de manœuvre	62
Tableau B.4 – Incertitudes élargies (U_X) des valeurs de référence pour un courant de choc.....	62
Tableau B.5 – Incertitudes élargies (U_X) des valeurs de référence pour un choc de foudre oscillant	62

Tableau B.6 – Incertitudes élargies (U_X) des valeurs de référence pour un choc de manœuvre oscillant.....	63
Tableau B.7 – Exemple d'estimation de l'incertitude.....	63

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

APPAREILS ET LOGICIELS UTILISÉS POUR LES MESURES PENDANT LES ESSAIS À HAUTE TENSION ET HAUTE INTENSITÉ –

Partie 2: Exigences pour le logiciel pour les essais avec des tensions et des courants de choc

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 61083-2 a été établie par le comité d'études 42 de la CEI: Techniques d'essais à haute tension et/ou à fort courant.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1996. Elle constitue une révision technique.

Les modifications principales par rapport à l'édition précédente sont les suivantes:

- a) le générateur de données numériques d'essai a fait l'objet d'une mise à jour;
- b) le nombre de formes d'onde de choc de référence inclus dans le générateur de données numériques d'essai a été considérablement augmenté;

- c) toutes les valeurs de référence ont été recalculées selon les nouvelles définitions énoncées dans la CEI 60060-1 et la CEI 62475;
- d) des méthodes pour l'estimation de l'incertitude d'évaluation des paramètres ont été introduites; ces méthodes sont conformes à la procédure introduite dans la CEI 60060-2.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
42/318/FDIS	42/321/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/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61083, publiées sous le titre général *Appareils et logiciels utilisés pour les mesures pendant les essais à haute tension et à haute intensité*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

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 la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

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

INTRODUCTION

La CEI 61083-1 spécifie les exigences des essais d'enregistreurs numériques. Les caractéristiques des enregistreurs numériques, comme celles des oscilloscopes analogiques, sont susceptibles de modifications. Cependant, les essais plus stricts (par rapport à ceux utilisés en pratique sur les oscilloscopes analogiques) spécifiés pour les enregistreurs numériques pour les mesures de tension et d'intensité de choc normalisées, ont permis de démontrer plus clairement la précision des enregistreurs numériques.

La présente partie de la CEI 61083 est applicable aux logiciels utilisés pour le traitement des enregistrements numériques afin d'obtenir les valeurs des paramètres de choc correspondants. Les données brutes sont conservées pour permettre une comparaison avec les données traitées. Cependant, comme les paramètres du choc d'essai (valeur d'essai incluse) sont obtenus par traitement numérique des données, il est important de définir des essais pour s'assurer que la lecture des paramètres est correctement effectuée. Le problème est de faire cela tout en permettant aux utilisateurs de développer une large panoplie de techniques.

Ce problème est intensifié par les différents besoins des utilisateurs, allant du laboratoire qui fait toujours le même genre d'essai (par exemple un fabricant de câble qui ne peut soumettre à essai que quelques objets capacitifs) jusqu'au laboratoire d'essais et de recherches à haute tension qui peut faire des essais sur une très grande variété d'objets qui ont également des impédances variées.

L'approche retenue dans la présente partie de la CEI 61083 est de fournir, à partir d'un logiciel générateur de données numériques d'essai, des formes d'onde (avec leurs variétés de paramètres) que l'utilisateur peut employer pour vérifier qu'une méthode de traitement fournit des résultats dans les tolérances spécifiées. Pour réduire la quantité d'essais exigés, les formes d'onde sont associées en groupes, et l'utilisateur n'a besoin que de vérifier les groupes correspondant aux essais à haute tension et/ou à haute intensité effectués dans son laboratoire.

La CEI 60060-1 introduit de nouvelles définitions pour les paramètres des chocs de foudre et l'évaluation de la durée jusqu'à la crête des chocs de manœuvre. Les modifications apportées à ces définitions ont induit des changements importants au niveau de certaines valeurs de référence figurant dans la présente norme. Le nombre d'enregistrements de chocs dans le générateur de données numériques d'essai a été augmenté afin de couvrir une variété plus large de formes de choc apparaissant lors des essais sur site.

APPAREILS ET LOGICIELS UTILISÉS POUR LES MESURES PENDANT LES ESSAIS À HAUTE TENSION ET HAUTE INTENSITÉ –

Partie 2: Exigences pour le logiciel pour les essais avec des tensions et des courants de choc

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61083 est applicable aux logiciels utilisés pour l'évaluation des paramètres de choc à partir des tensions et des courants de choc enregistrés. Elle précise les exigences relatives aux formes d'onde d'essai et aux valeurs de référence nécessaires pour respecter les incertitudes de mesures et les procédures spécifiées dans la CEI 60060-1, la CEI 60060-2, la CEI 60060-3 et la CEI 62475.

La présente norme ne couvre pas les matériels munis de microprogrammes intégrés qui ne peuvent pas accepter les données d'entrée numériques externes.

La présente norme a pour objet de

- décrire les essais nécessaires pour montrer que les caractéristiques du logiciel sont conformes aux exigences des normes CEI correspondantes;
- définir les termes particuliers relatifs au traitement numérique;
- spécifier les valeurs de référence et les limites d'acceptation pour les chocs de référence;
- spécifier les exigences pour la fiche de caractéristiques;
- définir les méthodes permettant d'évaluer la contribution du logiciel à l'incertitude de mesure.

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).

CEI 60060-1:2010, *Techniques des essais à haute tension – Partie 1: Définitions et exigences générales*

CEI 60060-2, *Techniques des essais à haute tension – Partie 2: Systèmes de mesure*

CEI 60060-3:2006, *High-voltage test techniques – Part 3: Definitions and requirements for on-site testing*

CEI 61083-1:2001, *Appareils et logiciels utilisés pour les mesures pendant les essais de choc à haute tension – Partie 1: Prescriptions pour les appareils*

CEI 62475:2010, *Techniques des essais à haute intensité – Définitions et exigences relatives aux courant d'essai et systèmes de mesure*

Guide ISO/CEI 98-3, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*

3 Termes et définitions

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

NOTE Les références aux définitions des paramètres de choc correspondants aux différents articles de la CEI 60060-1:2010, CEI 60060-3:2006 et CEI 62475:2010 sont répertoriées dans les Tableaux 1 et 2.

3.1

données brutes

enregistrement primitif de l'indication de sortie des informations échantillonnées et numérisées obtenu quand un enregistreur numérique convertit un signal analogique sous une forme numérique, éventuellement corrigé du décalage d'origine ou multiplié par un coefficient de conversion

3.2

donnée traitée

donnée obtenue par n'importe quel procédé (autre que la correction de décalage et/ou la multiplication par un coefficient de conversion) à partir d'une donnée brute

[SOURCE: CEI 61083-1:2001, définition 1.3.3.5, modifiée – la mention "constant" supprimée après "coefficient de conversion"; la NOTE supprimée]

3.3

niveau de bruit interne

écart-type des échantillons enregistrés lorsqu'une tension constante est appliquée à l'entrée de l'enregistreur numérique

3.4

choc de référence

forme d'onde fournie par le générateur de données numériques d'essai (TDG)

3.5

fréquence d'échantillonnage

taux d'échantillonnage

nombre d'échantillons d'un signal pris par unité de temps

[SOURCE: CEI 60050-704:1993, définition 704-23-03]

3.6

résolution (en traitement numérique)

mesure de la précision avec laquelle un système numérique peut différencier deux échantillons d'un signal

Note 1 à l'article: La résolution s'exprime en général par le nombre de bits nécessaires pour écrire en binaire le nombre maximal de niveaux de signal différents que le système peut distinguer.

[SOURCE: CEI 60050-807:1998, définition 807-01-02]

3.7

générateur de données numériques d'essai

TDG

logiciel qui produit des fichiers de données de référence numériques, représentatifs des formes d'onde de choc synthétisées et enregistrées

Tableau 1 – Références aux définitions des paramètres de tension de choc

	CEI 60060-1:2010								CEI 60060-3:2006				
	U_t	T_p	β	T_1	T_c	T_2	U_e		U_t	T_p	T_1	T_2	f
Groupe de chocs/ Algorithme d'évaluation	Valeur de la tension d'essai	Durée jusqu'à la crête	Amplitude relative du dépassement	Durée du front	Durée jusqu'à la coupure	Durée jusqu'à mi-valeur	Valeur extrême	Vitesse moyenne d'augmentation	Valeur de la tension d'essai	Durée jusqu'à la crête	Durée du front	Durée jusqu'à mi-valeur	Fréquence d'oscillation
Tension de choc de foudre plein (LI)	7.1.15, Annexe B		7.1.17, Annexe B	7.1.18, Annexe B		7.1.22, Annexe B	7.1.9	7.1.20	(7.2.4)		(7.2.5)	(7.2.7)	
Tension de choc de foudre coupé sur le front (LIC-A1, LIC-M1 à LIC-M3)	7.1.15, 7.2.6				7.1.27		7.1.9	7.1.20					
Tension de choc de foudre coupé par la queue (LIC-M4 à LIC-M5)	7.1.15, Annexe B		7.1.17, Annexe B	7.1.18, Annexe B	7.1.27, Annexe B		7.1.9	7.1.20					
Tension de choc de manœuvre (SI)	8.1.2	8.1.3				8.1.5			(8.2.3)	(8.2.4)		(8.2.5)	
Tension de choc de foudre oscillant (OLI)									7.2.4		7.2.5	7.2.7	8.2.6
Tension de choc de manœuvre oscillant (OSI)									8.2.3	8.2.4		8.2.5	8.2.6
NOTE Certaines définitions de paramètres (entre parenthèses) figurant dans la CEI 60060-3:2006 sont différentes de celles données dans la CEI 60060-1:2010. Pour la CEI 60060-3, des valeurs de référence sont uniquement fournies pour les paramètres de choc de foudre oscillant et de manœuvre oscillant.													

Tableau 2 – Références aux définitions des paramètres de courant de choc

	CEI 62475:2010				
	I_p	T_1	T_2	T_d	T_t
Groupe de chocs/ Algorithme d'évaluation	Valeur de crête du courant	Durée du front	Durée jusqu'à mi- valeur	Durée	Durée totale
Courant de choc exponentiel (IC-M1 à IC-M7, IC-M9)	10.2.3	10.2.4	10.2.6		
Courant de choc rectangulaire (IC-M8)	10.2.3			10.2.7	10.2.8

4 Générateur de données numériques d'essai (TDG)

4.1 Principe

Le générateur de données numériques d'essai (TDG) est un logiciel qui produit des fichiers de données de référence numériques, représentatifs à la fois des formes d'onde de choc synthétiques et enregistrées. Ces chocs de référence doivent être traités par le logiciel en essai, et les paramètres évalués à partir des données traitées doivent respecter les limites d'acceptation définies à l'Annexe A. Les caractéristiques du logiciel peuvent être vérifiées de cette manière.

Le TDG constitue un élément intrinsèque de la présente norme; il est fourni sous la forme d'un logiciel compilé pour un micro-ordinateur fonctionnant avec un système d'exploitation Windows¹. TDG est un programme doté d'un menu d'accueil avec un fichier d'aide intégré.

4.2 Format des données

Les fichiers de données de référence produits par le TDG simulent les données brutes susceptibles d'être obtenues à partir de l'enregistreur numérique de l'utilisateur. Les fichiers de données de référence sont enregistrés sous la forme de deux colonnes dans un format ASCII. Les valeurs sont données respectivement en secondes et volts ou ampères. Si le format ou l'échelle des données attendu par le logiciel en essai ne correspond pas à celui ou celle du TDG, un programme de conversion adapté doit être utilisé.

NOTE Un logiciel qui ne peut pas lire les chocs de référence du TDG (soit en forme directe, soit en forme convertie) n'est pas couvert par la présente norme.

5 Valeurs et limites d'acceptation pour les paramètres des chocs de référence

Un essai d'intercomparaison a été effectué. Plusieurs laboratoires ont calculé de façon indépendante les valeurs des paramètres des chocs de référence. Les valeurs moyennes statistiques obtenues lors de cet essai d'intercomparaison ont été prises comme valeurs de référence des paramètres énumérés aux Tableaux 1 et 2.

Les exigences relatives aux limites d'acceptation ont été définies en fonction des besoins de l'application.

Ces paramètres des chocs de référence sont indiqués dans les Tableaux A.1 à A.6.

¹ Windows est l'appellation commerciale d'un produit distribué par la société Microsoft. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifie nullement que la CEI approuve ou recommande l'emploi exclusif du produit ainsi désigné. Des produits équivalents peuvent être utilisés s'il est démontré qu'ils conduisent aux mêmes résultats.

6 Essai du logiciel

6.1 Généralités

Le TDG est conçu pour produire des fichiers de données simulant la sortie d'un enregistreur numérique afin de soumettre à l'essai le logiciel utilisé pour déterminer les paramètres de choc selon la définition donnée dans la CEI 60060-1, la CEI 60060-3 et la CEI 62745. Les références aux articles correspondants de ces normes sont répertoriées dans les Tableaux 1 et 2.

Les chocs dans le TDG sont répartis en six groupes, en fonction du type de choc:

- LI: choc de foudre plein;
- LIC: choc de foudre coupé sur le front ou sur la queue;
- SI: choc de manœuvre;
- IC: courant de choc;
- OLI: choc de foudre oscillant;
- OSI: choc de manœuvre oscillant.

6.2 Essai de détermination des caractéristiques

L'essai de détermination des caractéristiques, dans le cas d'un algorithme, est réalisé en procédant à une évaluation de tous les chocs de référence dans un groupe sélectionné, par exemple le groupe LI.

L'essai de détermination des caractéristiques doit être effectué pour chaque nouvelle version de l'algorithme d'évaluation et pour un ensemble de fréquences d'échantillonnage, de résolutions et de niveaux de bruit correspondant à l'application.

La preuve que l'algorithme d'évaluation réellement utilisé au cours des essais est le même que la version qui a été vérifiée conformément à la présente norme (et pour lequel les résultats sont indiqués dans la fiche de caractéristiques) doit être consignée dans la fiche de caractéristiques.

L'essai de détermination des caractéristiques peut être réalisé pour un, pour plusieurs ou pour la totalité du/des algorithme(s) d'évaluation figurant dans les Tableaux 1 et 2.

Les réglages du TDG doivent être choisis en accord avec le ou les enregistreurs numériques réels qui sont utilisés conjointement avec le logiciel. Ils impliquent le choix d'une fréquence d'échantillonnage, d'une résolution et d'un niveau de bruit interne. L'enregistrement du TDG obtenu simule la sortie de cet enregistreur numérique lors de l'enregistrement du choc de référence sélectionné. Les chocs de référence figurent dans l'Annexe A.

Chaque choc de référence de l'algorithme d'évaluation sélectionné par l'utilisateur est engendré par le TDG et injecté dans le logiciel à la place de la sortie réelle de l'enregistreur numérique. Les valeurs des paramètres déterminés par le logiciel en essai sont comparées aux limites d'acceptation données à l'Annexe A. On estime que le logiciel en essai a passé l'essai avec succès pour un groupe si les valeurs des paramètres calculées par le logiciel en essai sont comprises dans l'intervalle de valeurs d'acceptation spécifié pour tous les chocs de ce groupe.

6.3 Contribution à l'incertitude selon la CEI 60060-2 et/ou la CEI 62475

Le calcul de l'incertitude de mesure de haute tension selon la CEI 60060-2 et de mesure de haute intensité selon la CEI 62475 intègre une contribution à l'incertitude du logiciel appliqué. Elle est dérivée des limites d'acceptation des paramètres considérés (Annexe A). Selon une procédure simplifiée, la contribution à l'incertitude normalisée du logiciel correspondant à un certain paramètre peut être prise comme une estimation de type B, calculée à partir de la

valeur maximale de la demi-largeur de la limite d'acceptation des formes d'onde correspondantes ($i = 1 \dots n$) figurant dans l'Annexe A:

$$u_{B7} = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{i=1}^n (\text{mi - largeur de la limite d'acceptation}).$$

Ces contributions à l'incertitude normalisée sont répertoriées dans le Tableau 3.

NOTE 1 Pour les termes et définitions, se reporter à la CEI 60060-2:2010 ou à la CEI 62475:2010, plus particulièrement aux 3.6, 4.6, 5.9 et à l'Annexe A de l'une de ces deux normes. Le symbole u_{B7} suit la numérotation utilisée dans ces deux normes (5.2.1.3 à 5.9).

NOTE 2 L'intervalle d'acceptation pour le paramètre mesuré conformément à cette norme est la valeur de référence plus/moins sa limite d'acceptation indiquée dans l'Annexe A.

Tableau 3 – Contributions à l'incertitude normalisée du logiciel par rapport à l'incertitude totale selon la procédure simplifiée

Groupe de chocs/ Algorithme d'évaluation	U_i, U_p, I_p %	T_1, T_p, T_d %	T_2, T_t %	β' %
LI	0,058	1,2	0,58	0,58
LIC	0,58	1,2	1,2	0,58
SI	0,29	2,9	1,2	
IC	0,58	1,2	1,2	
OLI	0,29	1,2	1,2	
OSI	0,29	1,2	1,2	

Lorsque l'on utilise un logiciel pour évaluer les différents types de formes d'onde (voir Tableaux 1 et 2), une incertitude normalisée différente peut être appliquée pour chaque type.

Si l'incertitude normalisée estimée devient trop importante, la méthode de l'Annexe B ou toute méthode conforme au Guide ISO/CEI 98-3 peut être utilisée.

7 Fiche de caractéristiques du logiciel

Une liste des algorithmes d'évaluation pour lesquels le logiciel est validé doit figurer dans la fiche de caractéristiques du système de mesure (voir la CEI 61083-1 et la CEI 60060-2).

La fiche de caractéristiques doit inclure:

- le numéro de version du TDG et ses réglages correspondants;
- le nom du logiciel en essai, son numéro de version et sa date de diffusion;
- le ou les type(s) d'algorithme(s) pour lequel/lesquels les essais ont été effectués;
- la liste des paramètres pour lesquels le logiciel a subi, avec succès, les essais.

Annexe A
(normative)

Valeurs de référence et limites d'acceptation pour les paramètres des chocs du TDG

Tableau A.1 – Valeurs de référence et leurs limites d'acceptation pour les chocs de foudre pleins (LI) (1 de 6)

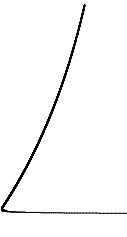
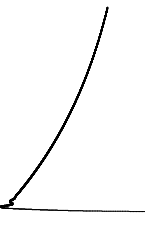
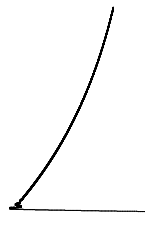
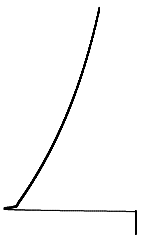
Désignation dans le générateur de données numériques d'essai	Choc de référence	Description	U_t		T_1		T_2		β'	
			Valeur de référence kV	Limite d'acceptation % de U_t	Valeur de référence μ s	Limite d'acceptation % de T_1	Valeur de référence μ s	Limite d'acceptation % de T_2	Valeur de référence %	Limite d'acceptation %, abs.
LI-A1		Superposition de deux fonctions exponentielles idéales	1 049,6	$\pm 0,10$	0,840	± 2	60,16	$\pm 1,0$	0,0	$\pm 1,0$
LI-A2		Oscillations lentes	1 037,6	$\pm 0,10$	1,693	± 2	47,48	$\pm 1,0$	5,1	$\pm 1,0$
LI-A3		Oscillations rapides	1 000,2	$\pm 0,10$	1,117	± 2	48,15	$\pm 1,0$	4,6	$\pm 1,0$
LI-A4		Dépassement 8 %, $f = 500$ kHz	856,01	$\pm 0,10$	0,841	± 2	47,80	$\pm 1,0$	7,9	$\pm 1,0$

Tableau A.1 (2 de 6)

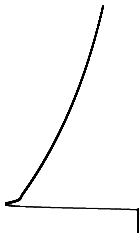
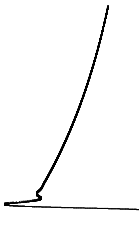
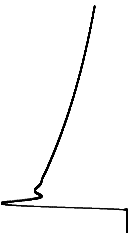
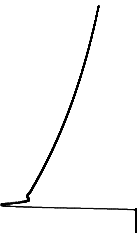
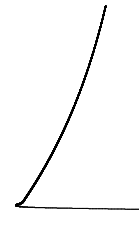
Désignation dans le générateur de données numériques d'essai	Choc de référence	Description	U_t		T_1		T_2		β'	
			Valeur de référence kV	Limite d'acceptation % de U_t	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_1	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_2	Valeur de référence %	Limite d'acceptation %, abs.
LI-A5		Dépassement 8 %, $f = 200 \text{ kHz}$	71,972	$\pm 0,10$	1,711	± 2	47,71	$\pm 1,0$	7,7	$\pm 1,0$
LI-A6		Dépassement 18 %, $f = 200 \text{ kHz}$	100,17	$\pm 0,10$	1,762	± 2	41,58	$\pm 1,0$	17,7	$\pm 1,0$
LI-A7		Dépassement 20 %, $f = 200 \text{ kHz}$	104,35	$\pm 0,10$	2,122	± 2	38,36	$\pm 1,0$	20,1	$\pm 1,0$
LI-A8		Dépassement 15 %, $f = 250 \text{ kHz}$	96,012	$\pm 0,10$	1,503	± 2	44,92	$\pm 1,0$	14,8	$\pm 1,0$
LI-A9		Dépassement 4 %, $f = 300 \text{ kHz}$	55,928	$\pm 0,10$	1,215	± 2	55,74	$\pm 1,0$	4,0	$\pm 1,0$

Tableau A.1 (3 de 6)

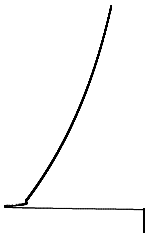
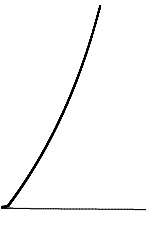
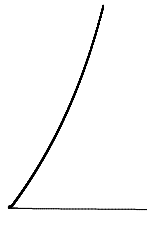
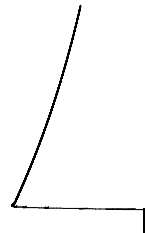
Désignation dans le générateur de données numériques d'essai	Choc de référence	Description	U_t		T_1		T_2		β'	
			Valeur de référence kV	Limite d'acceptation % de U_t	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_1	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_2	Valeur de référence %	Limite d'acceptation %, abs.
LI-A10		Dépassement 12 %, $f = 400$ kHz	81,929	$\pm 0,10$	0,924	± 2	42,66	$\pm 1,0$	12,0	$\pm 1,0$
LI-A11		Dépassement 4 %, $f = 800$ kHz	86,597	$\pm 0,10$	0,578	± 2	56,37	$\pm 1,0$	4,1	$\pm 1,0$
LI-A12		Dépassement 2 %, $f = 900$ kHz	85,584	$\pm 0,10$	0,587	± 2	57,36	$\pm 1,0$	2,3	$\pm 1,0$
LI-M1		Oscillations sur le front	952,09	$\pm 0,10$	1,123	± 2	85,60	$\pm 1,0$	2,1	$\pm 1,0$
LI-M2		Dépassement long	-1 041,7	$\pm 0,10$	3,356	± 2	61,25	$\pm 1,0$	9,2	$\pm 1,0$

Tableau A.1 (4 de 6)

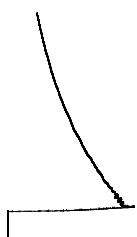
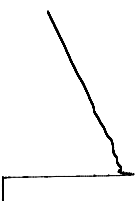
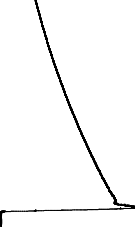
Désignation dans le générateur de données numériques d'essai	Choc de référence	Description	U_t		T_1		T_2		β'	
			Valeur de référence kV	Limite d'acceptation % de U_t	Valeur de référence μ s	Limite d'acceptation % de T_1	Valeur de référence μ s	Limite d'acceptation % de T_2	Valeur de référence %	Limite d'acceptation %, abs.
LI-M3		Dépassement court	-1 026,5	$\pm 0,10$	2,150	± 2	41,75	$\pm 1,0$	9,2	$\pm 1,0$
LI-M4		Oscillations, essais des transformateurs	-267,14	$\pm 0,10$	0,987	± 2	56,22	$\pm 1,0$	4,8	$\pm 1,0$
LIC-M5		Oscillations, essais des transformateurs	-55,003	$\pm 0,10$	2,746	± 2	42,11	$\pm 1,0$	18,7	$\pm 1,0$
LI-M6		Oscillations, essais des transformateurs	-166,87	$\pm 0,10$	1,356	± 2	54,74	$\pm 1,0$	3,8	$\pm 1,0$
LI-M7		Oscillations, essais des transformateurs	-1 272,3	$\pm 0,10$	1,482	± 2	50,03	$\pm 1,0$	11,2	$\pm 1,0$

Tableau A.1 (5 de 6)

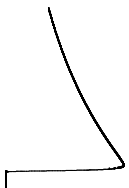
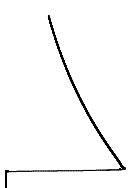
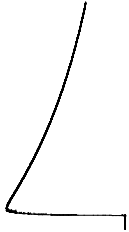
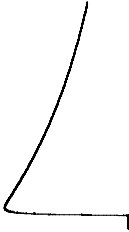
Désignation dans le générateur de données numériques d'essai	Choc de référence	Description	U_t		T_1		T_2		β'	
			Valeur de référence kV	Limite d'acceptation % de U_t	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_1	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_2	Valeur de référence %	Limite d'acceptation %, abs.
LI-M8		Front long, sans bruit superposé	-99,732	$\pm 0,10$	1,515	± 2	49,36	$\pm 1,0$	-0,5	$\pm 1,0$
LI-M9		Front court, dépassement	-100,04	$\pm 0,10$	0,828	± 2	46,65	$\pm 1,0$	1,4	$\pm 1,0$
LI-M10		Fortes oscillations sur le front	100,26	$\pm 0,10$	1,666	± 2	60,85	$\pm 1,0$	0,0	$\pm 1,0$
LI-M11		Fortes oscillations sur le front	299,32	$\pm 0,10$	1,661	± 2	60,95	$\pm 1,0$	-0,5	$\pm 1,0$
LI-M12		Niveau du décalage d'origine variable, oscillations à la crête	-4,319 3	$\pm 0,10$	1,292	± 2	52,27	$\pm 1,0$	-1,8	$\pm 1,0$

Tableau A.1 (6 de 6)

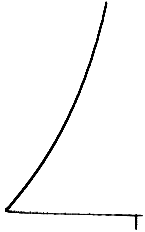
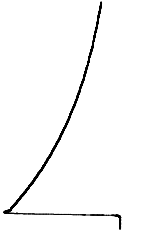
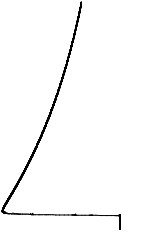
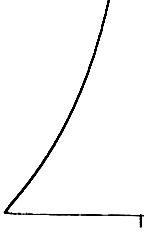
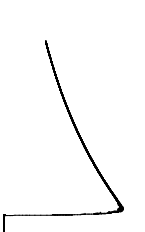
Désignation dans le générateur de données numériques d'essai	Choc de référence	Description	U_t		T_1		T_2		β'	
			Valeur de référence kV	Limite d'acceptation % de U_t	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_1	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_2	Valeur de référence %	Limite d'acceptation %, abs.
LI-M13		Oscillations après le point de départ	39,460	$\pm 0,10$	1,537	± 2	46,94	$\pm 1,0$	1,8	$\pm 1,0$
LI-M14		Oscillations après le point de départ, et dépassement	48,549	$\pm 0,10$	0,933	± 2	37,48	$\pm 1,0$	4,3	$\pm 1,0$
LI-M15		Oscillations après le point de départ, et dépassement	497,97	$\pm 0,10$	1,017	± 2	59,19	$\pm 1,0$	-0,1	$\pm 1,0$
LI-M16		Oscillations sur le front	369,21	$\pm 0,10$	0,920	± 2	47,53	$\pm 1,0$	0,8	$\pm 1,0$
LI-M17		Fortes oscillations sur le front et à la crête	-99,346	$\pm 0,10$	1,775	± 2	53,31	$\pm 1,0$	1,3	$\pm 1,0$

Tableau A.2 – Valeurs de référence et leurs limites d'acceptation pour les chocs de foudre coupés (LIC) (1 de 2)

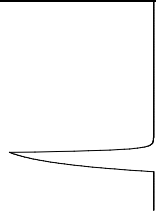
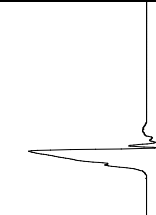
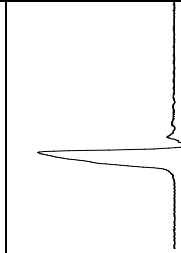
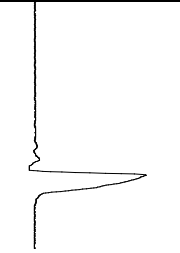
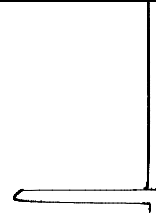
Désignation dans le générateur de données numériques d'essai	Choc de référence	Description	U_p, U_t		T_1		T_c		β'	
			Valeur de référence kV	Limite d'acceptation % de U_p ou U_t	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_1	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_c	Valeur de référence %	Limite d'acceptation %, abs.
LIC-A1		Choc de foudre coupé sur le front	872,2	$\pm 1,0$			0,543	± 2		
LIC-M1		Oscillations sur le front, coupé	850,0	$\pm 1,0$			0,569	± 2		
LIC-M2		Coupé sur le front	0,289 0	$\pm 1,0$			0,514	± 2		
LIC-M3		Coupé sur le front	-0,303 6	$\pm 1,0$			0,568	± 2		
LIC-M4		Coupé sur la queue	0,147 8	$\pm 1,0$	1,305	± 2	6,00	± 2	-0,2	± 1

Tableau A.2 (2 de 2)

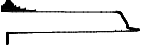
Désignation dans le générateur de données numériques d'essai	Choc de référence	Description	U_p, U_t		T_1		T_c		β'	
			Valeur de référence kV	Limite d'acceptation % de U_p ou U_t	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_1	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_c	Valeur de référence %	Limite d'acceptation %, abs.
LIC-M5		Coupé sur la queue	-389,9	$\pm 1,0$	0,857	± 2	9,24	± 2	6,8	± 1

Tableau A.3 – Valeurs de référence et leurs limites d'acceptation pour les chocs de manœuvre (SI)

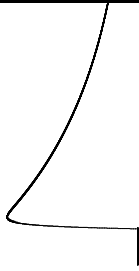
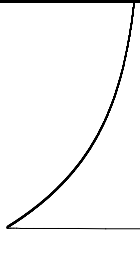
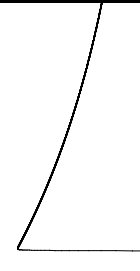
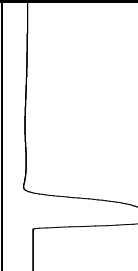
Désignation dans le générateur de données numériques d'essai	Choc de référence	Description	U _p		T _p		T ₂	
			Valeur de référence kV	Limite d'acceptation % de U _p	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T _p	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T ₂
SI-A1		Choc de manœuvre, 250/2 500	950,28	± 0,10	250,7	± 2	2 512	± 2
SI-A2		Choc de manœuvre, 20/1 300	0,987 67	± 0,10	19,89	± 2	1 321	± 2
SI-A3		Choc de manœuvre, 43/4 000	99,219	± 0,10	43,08	± 2	3 987	± 2
SI-M1		Mesuré durant l'essai du transformateur	-0,590 7	± 0,5	186,6	± 5	655	± 2
SI-M2		Choc de manœuvre mesuré	3,680	± 0,5	218	± 5	2 407	± 2

Tableau A.4 – Valeurs de référence et leurs limites d'acceptation pour les courants de choc (IC) (1 de 2)

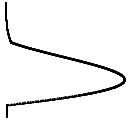
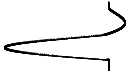
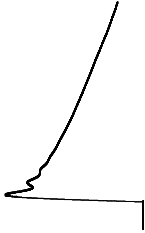
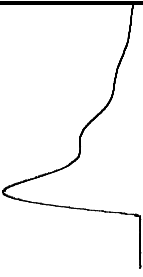
Désignation dans le générateur de données numériques d'essai	Choc de référence	Description	I_p		T_1, T_d		T_2, T_t	
			Valeur de référence kA	Limite d'acceptation % de I_p	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_1 ou T_d	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_2 ou T_t
IC-M1		Courant de choc, 8/20	-10,001	$\pm 0,2$	8,82	± 2	21,31	± 2
IC-M2		Courant de choc, 4/10	100,42	$\pm 0,2$	4,237	± 2	9,13	± 2
IC-M3		Courant de choc, 8/20	64,28	$\pm 0,2$	7,75	± 2	20,53	± 2
IC-M4		Courant de choc, 10/350	100,00	$\pm 0,2$	23,47	± 2	398,9	± 2
IC-M5		Courant de choc Composante-Ah	150,01	$\pm 0,2$	17,09	± 2	48,34	± 2

Tableau A.4 (2 de 2)

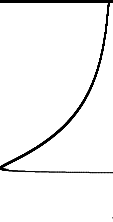
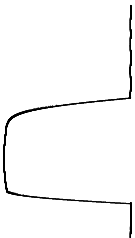
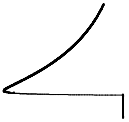
Désignation dans le générateur de données numériques d'essai	Choc de référence	Description	I_p		T_1, T_d		T_2, T_t	
			Valeur de référence kA	Limite d'acceptation % de I_p	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_1 ou T_d	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_2 ou T_t
IC-M6		Courant de choc 30/300	12,464	$\pm 0,2$	27,91	± 2	274,0	± 2
IC-M7		Courant de choc 1/15	20,495	$\pm 0,2$	1,009	± 2	17,65	± 2
IC-M8		Courant de choc rectangulaire	0,229 4	$\pm 1,0$	2 051	± 2	2 678	± 2
IC-M9		Courant de choc 1/15	10,156	$\pm 0,2$	0,968	± 2	17,68	± 2

Tableau A.5 – Valeurs de référence et leurs limites d'acceptation pour les chocs de foudre oscillants (OLI)

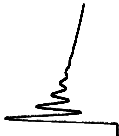
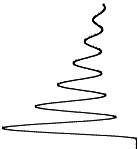
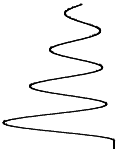
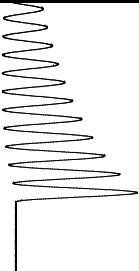
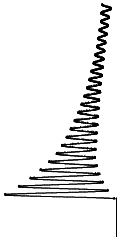
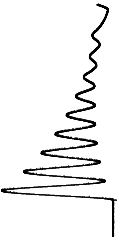
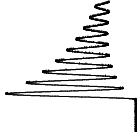
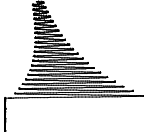
Désignation dans le générateur de données numériques d'essai	Choc de référence	Description	U_p		T_1		T_2	
			Valeur de référence kV	Limite d'acceptation % de U_p	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_1	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T_2
OLI-M1		Choc de foudre oscillant, $f = 110 \text{ kHz}$	203,3	$\pm 0,5$	3,280	± 2	32,89	± 2
OLI-M2		Choc de foudre oscillant, $f = 60 \text{ kHz}$	203,1	$\pm 0,5$	5,80	± 2	52,0	± 2
OLI-M3		Choc de foudre oscillant, $f = 35 \text{ kHz}$	201,7	$\pm 0,5$	9,68	± 2	83,0	± 2
OLI-M4		Choc de foudre oscillant, $f = 70 \text{ kHz}$	-809,9	$\pm 0,5$	4,935	± 2	69,1	± 2

Tableau A.6 – Valeurs de référence et leurs limites d'acceptation pour les chocs de manœuvre oscillants (OSI)

Désignation dans le générateur de données numériques d'essai	Choc de référence	Description	U _p		T _p		T ₂	
			Valeur de référence kV	Limite d'acceptation % de U _p	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T _p	Valeur de référence μs	Limite d'acceptation % de T ₂
OSI-M1		Choc de manœuvre oscillant, f = 4,7 kHz	204,2	± 0,5	110,7	± 2	134 6	± 2
OSI-M2		Choc de manœuvre oscillant, f = 2,0 kHz	202,9	± 0,5	248,9	± 2	177 9	± 2
OSI-M3		Choc de manœuvre oscillant, f = 3,6 kHz	784,6	± 0,5	144,7	± 2	136 5	± 2
OSI-M4		Choc de manœuvre oscillant, f = 8,3 kHz	-1 521,1	± 0,5	63,2	± 2	121 5	± 2

Annexe B (informative)

Autre méthode d'estimation de l'incertitude

B.1 Incertitude des valeurs de référence

Les valeurs de référence sont fondées sur la moyenne des résultats obtenus sur plusieurs logiciels fournis par les membres de l'équipe de maintenance. Chaque logiciel a fait l'objet d'un développement indépendant afin de mettre en application les définitions de la CEI 60060-1, de la CEI 60060-3 et de la CEI 62475.

Le résultat de ce processus d'évaluation est présenté dans les Tableaux B.1 à B.6. La valeur de référence d'un paramètre est égale à la valeur moyenne $\bar{x}$ de n évaluations indépendantes de ce paramètre:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{k=1}^n x_k .$$

L'écart-type expérimental de ces n observations indépendantes est égal à

$$s(x_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{k=1}^n (x_k - \bar{x})^2} .$$

L'incertitude élargie est la suivante:

$$U_x = t \times \frac{s(x_k)}{\sqrt{n}} ,$$

où t est un facteur de la distribution t conduisant à un niveau de confiance d'environ 95% ($k = 2$).

NOTE Les échantillons qui ont dévié de plus de 3 fois de l'écart-type d'une population d'échantillons n'ont pas été inclus dans le calcul de la valeur moyenne $\bar{x}$ et de son incertitude élargie U_x .

Il convient que les limites d'acceptation figurant dans les Tableaux A.1 à A.6 soient supérieures aux incertitudes normalisées évaluées; en revanche, il convient qu'elles soient inférieures à l'ensemble des limites d'incertitude fixées pour les systèmes de mesure dans la CEI 60060-2 et la CEI 62475. Les valeurs des Tableaux A.1 à A.6 s'inscrivent à l'intérieur de ces limites.

B.2 Contribution du logiciel à l'estimation de l'incertitude selon la CEI 60060-2

Plutôt que d'appliquer les limites d'acceptation de 6.3, il est possible d'utiliser les différences entre les valeurs de référence x_{REF} et les valeurs évaluées par le logiciel en essai comme base pour l'évaluation de l'incertitude.

Après l'identification des n formes d'onde relatives à l'algorithme du logiciel en essai, il est possible d'utiliser la différence maximale observée par rapport à la valeur de référence pour obtenir la première composante de l'incertitude normalisée:

$$u_{B71} = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{i=1}^n \left| \frac{x_i - x_{\text{REF},i}}{x_{\text{REF},i}} \right|$$

ou dans le cas β' , quand l'incertitude est donnée en termes absolus:

$$u_{B71} = \frac{1}{\sqrt{3}} \max_{i=1}^n |\beta'_i - \beta'_{\text{REF},i}|$$

Il convient, en outre, de prendre en compte l'incertitude des valeurs de référence. Pour ce faire, la moyenne ($\bar{x}$), l'incertitude normalisée (U_x) et le nombre d'observations (n) de la détermination de chaque valeur de référence sont répertoriés dans les Tableaux B.1 à B.6. Dans les tableaux, l'incertitude élargie est donnée sur un niveau de confiance d'environ 95% ($k = 2$).

Cette composante de l'incertitude normalisée est donnée par

$$u_{B72} = \frac{1}{2} \max_{i=1}^n U_{x,i}$$

où $U_{x,i}$ sont les incertitudes élargies pour $x_{\text{REF},i}$.

L'incertitude normalisée du logiciel est donnée par la formule suivante

$$u_{B7} = \sqrt{u_{B71}^2 + u_{B72}^2}$$

Tableau B.1 – Incertitudes élargies (U_x) des valeurs de référence pour un choc de foudre (1 de 2)

LI	U_t			T_1			T_2			β'			U_e			Vitesse moyenne d'augmentation kV/ μ s		
	$\bar{x}$ kV	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ %	U_x %, abs.	n	$\bar{x}$ kV	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ kV/ μ s	U_x % de $\bar{x}$	n
LI-A1	1 049,60	0,002	8	0,839 84	0,011	8	60,156	0,003	8	0,001	0,003	5	1 049,588	0,000 1	6	1 193	0,5	3
LI-A2	1 037,63	0,008	8	1,693	0,12	8	47,479	0,011	8	5,14	0,02	7	1 049,906	0,000 7	6	547	0,7	3
LI-A3	1 000,2	0,02	8	1,117	0,3	8	48,15	0,04	8	4,575	0,007	7	1 023,67	0,002	6	914	0,2	3
LI-A4	856,01	0,005	8	0,841	0,3	8	47,802	0,012	8	7,88	0,02	7	874,260	0,000 0	6	1 020	1,0	3
LI-A5	71,972	0,006	8	1,711	0,3	8	47,705	0,02	8	7,74	0,05	7	72,536 0	0,000 0	6	43,30	0,14	3
LI-A6	100,170	0,005	8	1,762	0,4	8	41,576	0,02	8	17,73	0,02	7	101,930 0	0,000 0	6	59,66	0,2	3
LI-A7	104,349	0,011	8	2,122	0,5	8	38,36	0,04	8	20,15	0,07	7	105,878 6	0,000 7	6	51,7	0,3	3
LI-A8	96,012	0,009	8	1,503	0,3	8	44,924	0,02	8	14,75	0,03	7	97,812 8	0,000 6	6	66,3	0,6	3
LI-A9	55,928	0,007	8	1,215 2	0,12	8	55,737	0,015	8	4,02	0,02	7	56,271 0	0,000 0	6	47,0	0,4	3
LI-A10	81,929	0,009	8	0,924	0,4	8	42,659	0,02	8	12,01	0,05	7	84,338 0	0,000 0	6	89,5	0,4	3
LI-A11	86,597	0,004	8	0,578	0,3	8	56,367	0,009	8	4,066	0,010	7	87,902 7	0,0002	6	149	1,4	3
LI-A12	85,584	0,004	8	0,587 4	0,2	8	57,358	0,009	8	2,267	0,007	7	86,194 0	0,0000	6	147,4	0,8	3
LI-M1	952,09	0,007	8	1,123	0,4	8	85,603	0,02	8	2,082	0,003	7	960,13	0,005	6	845	0,6	3
LI-M2	-1041,7	0,015	8	3,356	0,09	8	61,249	0,006	8	9,18	0,02	7	-1 070,04	0,008	6	-267,2	0,5	3
LI-M3	-1026,5	0,02	8	2,150	0,13	8	41,749	0,015	8	9,17	0,02	7	-1 070,07	0,006	6	-399,4	0,3	3
LI-M4	-267,14	0,03	7	0,987	0,4	6	56,22	0,06	7	4,82	0,02	5	-276,986	0,003	6	-266,3	0,15	3
LI-M5	-55,003	0,010	8	2,746	0,4	8	42,11	0,05	8	18,71	0,08	7	-56,401	0,015	6	-20,66	0,3	3
LI-M6	-166,865	0,005	8	1,355 6	0,02	8	54,739	0,007	8	3,837	0,014	7	-169,921	0,001	6	-119,9	0,5	3
LI-M7	-1 272,3	0,02	8	1,482	0,3	8	50,03	0,05	8	11,20	0,04	7	-1 296,6	0,013	6	-907	1,0	3
LI-M8	-99,732	0,004	8	1,514 7	0,08	8	49,358	0,004	8	-0,55	0,02	7	-99,709	0,002	6	-65,0	0,3	3
LI-M9	-100,035	0,006	8	0,828 3	0,08	8	46,654	0,02	8	1,382	0,007	7	-100,761	0,004	6	-119,4	0,6	3
LI-M10	100,258	0,004	8	1,666	0,09	8	60,853	0,003	8	-0,007	0,011	6	100,867	0,003	6	48,7	2	3
LI-M11	299,324	0,004	8	1,661 1	0,07	8	60,946	0,005	8	-0,457	0,002	7	300,482	0,002	6	161,9	0,3	3

Tableau B.1 (2 de 2)

LI	U_t			T_1			T_2			β'			U_e			Vitesse moyenne d'augmentation kV/ μ s		
	$\bar{x}$ kV	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ %	U_x %, abs.	n	$\bar{x}$ kV	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ kV/ μ s	U_x % de $\bar{x}$	n
LI-M12	-4,319 3	0,008	8	1,292	0,2	8	52,266	0,011	8	-1,76	0,05	7	-4,326 09	0,003	6	-3,35	2	3
LI-M13	39,460	0,004	8	1,537	0,2	8	46,937	0,013	8	1,763	0,014	7	39,605 1	0,002	6	26,12	0,2	3
LI-M14	48,549	0,012	8	0,933	0,2	7	37,479	0,04	8	4,27	0,04	7	49,213	0,015	6	54,4	0,5	3
LI-M15	497,97	0,005	8	1,016 6	0,11	8	59,187	0,007	8	-0,08	0,02	7	499,945	0,002	6	477	0,6	3
LI-M16	369,21	0,005	8	0,919 8	0,10	8	47,531	0,010	8	0,833	0,006	7	371,709	0,003	6	390	4	3
LI-M17	-99,346	0,003	8	1,774 7	0,04	7	53,312 4	0,002	8	1,327	0,003	7	-101,21	0,05	6	-45,8	1,1	3

Tableau B.2 – Incertitudes élargies (U_x) des valeurs de référence pour un choc de foudre coupé

LIC	U_p, U_t			T_1			T_c			β'			U_e			Vitesse moyenne d'augmentation V/ μ s		
	$\bar{x}$ kV	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μ s	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ %	U_x %, abs.	n	$\bar{x}$ kV	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ kV/ μ s	U_x % de $\bar{x}$	n
LIC-A1	872,21	0,005	5				0,543 01	0,005	5									
LIC-M1	850,0	0,07	5				0,569 1	0,12	5									
LIC-M2	0,289 03	0,02	5				0,514	0,4	5									
LIC-M3	-0,303 60	0,02	4				0,567 9	0,2	5									
LIC-M4	0,147 81	0,03	6	1,305	0,6	6	6,00	0,3	6	-0,16	0,05	5	0,1480	0,2	4	0,114	3	3
LIC-M5	-389,9	0,05	6	0,857	0,9	5	9,24	0,2	6	6,85	0,04	5	-397,8	0,04	4	-452	3	3

Tableau B.3 – Incertitudes élargies (U_x) des valeurs de référence pour un choc de manœuvre

SI	U_p			T_p			T_2		
	$\bar{x}$ kV	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μs	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μs	U_x % de $\bar{x}$	n
SI-A1	950,28	0,004	6	251	0,8	5	2 512,5	0,02	6
SI-A2	0,987 67	0,004	6	19,9	2	5	1 320,79	0,009	6
SI-A3	99,218 6	0,001 3	6	43,1	2	5	3 987,3	0,011	6
SI-M1	–0,590 7	0,11	6	187	3	6	655	1,4	6
SI-M2	3,680	0,13	6	218	4	5	2 410	2	6

Tableau B.4 – Incertitudes élargies (U_x) des valeurs de référence pour un courant de choc

IC	I_p			T_1			T_2		
	$\bar{x}$ kA	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μs	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μs	U_x % de $\bar{x}$	n
IC-M1	–10,001	0,08	6	8,822	0,03	6	21,313	0,02	6
IC-M2	100,418	0,009	6	4,237 12	0,003	5	9,1273	0,004	5
IC-M3	64,281	0,011	6	7,747 1	0,010	6	20,533	0,013	6
IC-M4	100,001	0,003	6	23,470	0,007	6	399	0,6	6
IC-M5	150,01	0,05	6	17,09	0,5	6	48,34	0,3	6
IC-M6	12,464	0,02	6	27,914	0,008	6	274,014	0,004	6
IC-M7	20,495	0,02	6	1,009	0,3	6	17,648	0,06	6
IC-M8	0,229 37	0,04	5	2 050,54	0,007	5	2 678,3	0,009	5
IC-M9	10,155 8	0,009	4	0,967 6	0,06	5	17,68	0,3	5

Tableau B.5 – Incertitudes élargies (U_x) des valeurs de référence pour un choc de foudre oscillant

OLI	U_p			T_1			T_2			f		
	$\bar{x}$ kV	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μs	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μs	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ Hz	U_x % de $\bar{x}$	n
OLI-M1	203,3	0,14	6	3,280	0,3	6	32,9	0,8	6	111,3	0,8	6
OLI-M2	203,1	0,10	6	5,802	0,13	6	52,0	0,7	6	60,9	0,3	6
OLI-M3	201,7	0,10	6	9,68	0,2	6	83,0	0,5	6	36,4	0,5	6
OLI-M4	–809,9	0,11	6	4,935	0,2	6	69,1	0,3	6	71,9	0,3	6

Tableau B.6 – Incertitudes élargies (U_x) des valeurs de référence pour un choc de manœuvre oscillant

OSI	U_p			T_p			T_2			f		
	$\bar{x}$ kV	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μs	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ μs	U_x % de $\bar{x}$	n	$\bar{x}$ Hz	U_x % de $\bar{x}$	n
OSI-M1	204,2	0,2	6	110,7	0,3	5	1 346	0,7	6	4,721	0,15	6
OSI-M2	202,9	0,10	6	248,9	0,2	5	1 780	1,3	6	2,048	0,4	6
OSI-M3	784,6	0,09	6	144,72	0,10	5	1 370	1,3	6	3,55	1,1	6
OSI-M4	–1 521	0,13	6	63,2	0,3	5	1 215	1,0	6	8,33	0,9	6

B.3 Exemple

B.3.1 Généralités

L'incertitude normalisée liée au logiciel u_{B7} doit être déterminée pour la valeur de crête des chocs de foudre coupés. Les formes d'onde liées, dans l'Annexe A, sont LIC-A1 et LIC-M1 à M5. Le Tableau B.7 indique

- les valeurs de référence et les limites d'acceptation d'après l'Annexe A;
- les valeurs d'incertitude élargie d'après l'Annexe B; et
- les valeurs évaluées par le logiciel en essai et leur écart par rapport aux valeurs de référence.

Tableau B.7 – Exemple d'estimation de l'incertitude

Forme d'onde	Valeur de référence (d'après le Tableau A.2)	Limite d'acceptation (d'après le Tableau A.2)	Incertitude élargie de la valeur de référence (d'après le Tableau B.2)	Valeur évaluée	Écart par rapport à la valeur de référence
	x_{REFI} kV	%	U_i %	x_i kV	$\left \frac{x_i - x_{REFI}}{x_{REFI}} \right $ %
LIC-A1	872,2	1,0	0,005	873,4	0,14
LIC-M1	850,0	1,0	0,07	851,4	0,16
LIC-M2	0,289 0	1,0	0,02	0,288	0,36
LIC-M3	–0,303 6	1,0	0,02	–0,303 9	0,10
LIC-M4	0,147 8	1,0	0,03	0,148 3	0,33
LIC-M5	–389,9	1,0	0,05	–391	0,28
Valeur max.			0,07		0,36

B.3.2 Estimation selon 6.3

Tous les écarts par rapport aux valeurs de référence respectent les limites d'acceptation. La contribution à l'incertitude qui en résulte est égale à

$$u_{B7} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 1\% = 0,58\%$$

B.3.3 Estimation selon l'Annexe B

On peut obtenir une plus faible contribution à l'incertitude en tenant compte des incertitudes des valeurs de référence et des écarts par rapport à ces valeurs. Selon cette annexe, on obtient:

$$u_{B71} = \frac{1}{\sqrt{3}} \times 0,36 \% = 0,21 \%,$$

$$u_{B72} = \frac{1}{2} \times 0,07 \% = 0,04 \% \text{ et}$$

$$u_{B7} = \sqrt{u_{B71}^2 + u_{B72}^2} = \sqrt{0,21\%^2 + 0,04\%^2} = 0,21\% .$$

Bibliographie

CEI 60050-704:1993, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 704: Transmission*

CEI 60050-807:1998, *Vocabulaire Electrotechnique International – Partie 807: Enregistrement numérique des signaux audio et vidéo*

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