

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC EMC PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Electromagnetic compatibility (EMC) –
Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de
choc**





THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 61000-4-5

Edition 3.0 2014-05

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC EMC PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Electromagnetic compatibility (EMC) –
Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de choc**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XC

ICS 33.100.20

ISBN 978-2-8322-1532-6

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

CONTENTS

FOREWORD.....	6
INTRODUCTION.....	8
1 Scope and object.....	9
2 Normative references	9
3 Terms, definitions and abbreviations	10
3.1 Terms and definitions.....	10
3.2 Abbreviations.....	13
4 General	13
4.1 Power system switching transients.....	13
4.2 Lightning transients.....	14
4.3 Simulation of the transients.....	14
5 Test levels.....	14
6 Test instrumentation	15
6.1 General.....	15
6.2 1,2/50 µs combination wave generator	15
6.2.1 General	15
6.2.2 Performance characteristics of the generator	16
6.2.3 Calibration of the generator	18
6.3 Coupling/decoupling networks.....	19
6.3.1 General	19
6.3.2 Coupling/decoupling networks for a.c./d.c. power port rated up to 200 A per line	20
6.3.3 Coupling/decoupling networks for interconnection lines	24
6.4 Calibration of coupling/decoupling networks.....	27
6.4.1 General	27
6.4.2 Calibration of CDNs for a.c./d.c. power port rated up to 200 A per line	27
6.4.3 Calibration of CDNs for interconnection lines.....	28
7 Test setup	30
7.1 Test equipment	30
7.2 Verification of the test instrumentation	31
7.3 Test setup for surges applied to EUT power ports	31
7.4 Test setup for surges applied to unshielded unsymmetrical interconnection lines	32
7.5 Test setup for surges applied to unshielded symmetrical interconnection lines.....	32
7.6 Test setup for surges applied to shielded lines.....	32
8 Test procedure	33
8.1 General.....	33
8.2 Laboratory reference conditions.....	34
8.2.1 Climatic conditions	34
8.2.2 Electromagnetic conditions	34
8.3 Execution of the test	34
9 Evaluation of test results	35
10 Test report.....	35

Annex A (normative) Surge testing for unshielded outdoor symmetrical communication lines intended to interconnect to widely dispersed systems	37
A.1 General.....	37
A.2 10/700 μ s combination wave generator	37
A.2.1 Characteristics of the generator	37
A.2.2 Performances of the generator	38
A.2.3 Calibration of the generator	40
A.3 Coupling/decoupling networks.....	40
A.3.1 General	40
A.3.2 Coupling/decoupling networks for outdoor communication lines	41
A.4 Calibration of coupling/decoupling networks.....	41
A.5 Test setup for surges applied to outdoor unshielded symmetrical communication lines	42
Annex B (informative) Selection of generators and test levels	44
B.1 General.....	44
B.2 The classification of environments	44
B.3 The definition of port types.....	44
B.4 Generators and surge types	45
B.5 Tables.....	45
Annex C (informative) Explanatory notes	47
C.1 Different source impedance	47
C.2 Application of the tests.....	47
C.2.1 Equipment level immunity	47
C.2.2 System level immunity	47
C.3 Installation classification	48
C.4 Minimum immunity level of ports connected to the a.c./d.c. mains supply.....	49
C.5 Equipment level immunity of ports connected to interconnection lines.....	49
Annex D (informative) Considerations for achieving immunity for equipment connected to low voltage power distribution systems	51
Annex E (informative) Mathematical modelling of surge waveforms	53
E.1 General.....	53
E.2 Normalized time domain voltage surge (1,2/50 μ s).....	54
E.3 Normalized time domain current surge (8/20 μ s)	55
E.4 Normalized time domain voltage surge (10/700 μ s).....	57
E.5 Normalized time domain current surge (5/320 μ s)	59
Annex F (informative) Measurement uncertainty (MU) considerations	62
F.1 Legend	62
F.2 General.....	62
F.3 Uncertainty contributors to the surge measurement uncertainty	63
F.4 Uncertainty of surge calibration.....	63
F.4.1 General	63
F.4.2 Front time of the surge open-circuit voltage	63
F.4.3 Peak of the surge open-circuit voltage	65
F.4.4 Duration of the surge open-circuit voltage.....	66
F.4.5 Further MU contributions to time and amplitude measurements	67
F.4.6 Rise time distortion due to the limited bandwidth of the measuring system.....	67

F.4.7	Impulse peak and width distortion due to the limited bandwidth of the measuring system	68
F.5	Application of uncertainties in the surge generator compliance criterion	69
Annex G (informative)	Method of calibration of impulse measuring systems	70
G.1	General	70
G.2	Estimation of measuring system response using the convolution integral	70
G.3	Impulse measuring system for open-circuit voltage (1,2/50 μ s, 10/700 μ s)	71
G.4	Impulse measuring system for short-circuit current (8/20 μ s, 5/320 μ s)	71
Annex H (informative)	Coupling/decoupling surges to lines rated above 200 A	73
H.1	General	73
H.2	Considerations of coupling and decoupling	73
H.3	Additional precautions	74
Bibliography		75
Figure 1	– Simplified circuit diagram of the combination wave generator	16
Figure 2	– Waveform of open-circuit voltage (1,2/50 μ s) at the output of the generator with no CDN connected	17
Figure 3	– Waveform of short-circuit current (8/20 μ s) at the output of the generator with no CDN connected	18
Figure 4	– Selection of coupling/decoupling method	20
Figure 5	– Example of coupling network and decoupling network for capacitive coupling on a.c./d.c. lines line-to-line coupling	22
Figure 6	– Example of coupling network and decoupling network for capacitive coupling on a.c./d.c. lines: line-to-ground coupling	23
Figure 7	– Example of coupling network and decoupling network for capacitive coupling on a.c. lines (3 phases): line L2-to-line L3 coupling	23
Figure 8	– Example of coupling network and decoupling network for capacitive coupling on a.c. lines (3 phases): line L3-to-ground coupling	24
Figure 9	– Example of coupling network and decoupling network for unshielded unsymmetrical interconnection lines: line-to-line and line-to-ground coupling	25
Figure 10	– Example of coupling and decoupling network for unshielded symmetrical interconnection lines: lines-to-ground coupling	26
Figure 11	– Example of coupling and decoupling network for unshielded symmetrical interconnection lines: lines-to-ground coupling via capacitors	27
Figure 12	– Example of test setup for surges applied to shielded lines	33
Figure A.1	– Simplified circuit diagram of the combination wave generator (10/700 μ s – 5/320 μ s)	38
Figure A.2	– Waveform of open-circuit voltage (10/700 μ s)	39
Figure A.3	– Waveform of the 5/320 μ s short-circuit current waveform	39
Figure A.4	– Example of test setup for unshielded outdoor symmetrical communication lines: lines-to-ground coupling, coupling via gas arrestors (primary protection fitted)	41
Figure E.1	– Voltage surge (1,2/50 μ s): width time response T_W	54
Figure E.2	– Voltage surge (1,2/50 μ s): rise time response T_r	55
Figure E.3	– Voltage surge (1,2/50 μ s): spectral response with $\Delta f = 3,333$ kHz	55
Figure E.4	– Current surge (8/20 μ s): width time response T_W	56
Figure E.5	– Current surge (8/20 μ s): rise time response T_r	57
Figure E.6	– Current surge (8/20 μ s): spectral response with $\Delta f = 10$ kHz	57

Figure E.7 – Voltage surge (10/700 μ s): width time response T_W	58
Figure E.8 – Voltage surge (10/700 μ s): rise time response T	59
Figure E.9 – Voltage surge (10/700 μ s): spectral response with $\Delta f = 0,2$ kHz	59
Figure E.10 – Current surge (5/320 μ s): width time response T_W	60
Figure E.11 – Current surge (5/320 μ s): rise time response T_r	61
Figure E.12 – Current surge (5/320 μ s): spectral response with $\Delta f = 0,4$ kHz	61
Figure G.1 – Simplified circuit diagram of the current step generator	72
Table 1 – Test levels	15
Table 2 – Definitions of the waveform parameters 1,2/50 μ s and 8/20 μ s	17
Table 3 – Relationship between peak open-circuit voltage and peak short-circuit current	17
Table 4 – Voltage waveform specification at the EUT port of the CDN	21
Table 5 – Current waveform specification at the EUT port of the CDN	21
Table 6 – Relationship between peak open-circuit voltage and peak short-circuit current at the EUT port of the CDN	22
Table 7 – Summary of calibration process for CDNs for unsymmetrical interconnection lines	28
Table 8 – Surge waveform specifications at the EUT port of the CDN for unsymmetrical interconnection lines	29
Table 9 – Summary of calibration process for CDNs for symmetrical interconnection lines	30
Table 10 – Surge waveform specifications at the EUT port of the CDN for symmetrical interconnection lines	30
Table A.1 – Definitions of the waveform parameters 10/700 μ s and 5/320 μ s	39
Table A.2 – Relationship between peak open-circuit voltage and peak short-circuit current	40
Table A.3 – Summary of calibration process for CDNs for unshielded outdoor symmetrical communication lines	42
Table A.4 – Surge waveform specifications at the EUT port of the CDN for unshielded outdoor symmetrical communication lines	42
Table B.1 – Power ports: selection of the test levels (depending on the installation class)	45
Table B.2 – Circuits/lines: selection of the test levels (depending on the installation class)	46
Table F.1 – Example of uncertainty budget for surge open-circuit voltage front time (T_{fV})	64
Table F.2 – Example of uncertainty budget for surge open-circuit voltage peak value (V_P)	65
Table F.3 – Example of uncertainty budget for surge open-circuit voltage duration (T_D)	66
Table F.4 – α factor, Equation (F.5), of different unidirectional impulse responses corresponding to the same bandwidth of the system B	68
Table F.5 – β factor, Equation (F.9), of the standard surge waveforms	69
Table H.1 – Recommended inductance values for decoupling lines (> 200 A)	73

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 4-5: Testing and measurement techniques –
Surge immunity test**

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 61000-4-5 has been prepared by subcommittee 77B: High frequency phenomena, of IEC technical Committee 77: Electromagnetic compatibility.

It forms Part 4-5 of IEC 61000. It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2005, and constitutes a technical revision.

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

- a) new Annex E on mathematical modelling of surge waveforms;
- b) new Annex F on measurement uncertainty;
- c) new Annex G on method of calibration of impulse measuring systems;

- d) new Annex H on coupling/decoupling surges to lines rated above 200 A;
- e) moreover while surge test for ports connected to outside telecommunication lines was addressed in 6.2 of the second edition (IEC 61000-4-5:2005), in this third edition (IEC 61000-4-5:2014) the normative Annex A is fully dedicated to this topic. In particular it gives the specifications of the 10/700 μ s combined wave generator.

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

FDIS	Report on voting
77B/711/FDIS	77B/715/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 parts in the IEC 61000 series, published under the general title *Electromagnetic compatibility (EMC)*, 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.

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

INTRODUCTION

IEC 61000 is published in separate parts according to the following structure:

Part 1: General

General considerations (introduction, fundamental principles)

Definitions, terminology

Part 2: Environment

Description of the environment

Classification of the environment

Compatibility levels

Part 3: Limits

Emission limits

Immunity limits (insofar as they do not fall under the responsibility of the product committees)

Part 4: Testing and measurement techniques

Measurement techniques

Testing techniques

Part 5: Installation and mitigation guidelines

Installation guidelines

Mitigation methods and devices

Part 6: Generic standards

Part 9: Miscellaneous

Each part is further subdivided into several parts, published either as international standards or as technical specifications or technical reports, some of which have already been published as sections. Others will be published with the part number followed by a dash and a second number identifying the subdivision (example: IEC 61000-6-1).

This part is an International Standard which gives immunity requirements and test procedures related to surge voltages and surge currents.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test

1 Scope and object

This part of IEC 61000 relates to the immunity requirements, test methods, and range of recommended test levels for equipment with regard to unidirectional surges caused by over-voltages from switching and lightning transients. Several test levels are defined which relate to different environment and installation conditions. These requirements are developed for and are applicable to electrical and electronic equipment.

The object of this standard is to establish a common reference for evaluating the immunity of electrical and electronic equipment when subjected to surges. The test method documented in this part of IEC 61000 describes a consistent method to assess the immunity of an equipment or system against a defined phenomenon.

NOTE As described in IEC Guide 107, this is a basic EMC publication for use by product committees of the IEC. As also stated in Guide 107, the IEC product committees are responsible for determining whether this immunity test standard is applied or not, and if applied, they are responsible for determining the appropriate test levels and performance criteria. TC 77 and its sub-committees are prepared to co-operate with product committees in the evaluation of the value of particular immunity test levels for their products.

This standard defines:

- a range of test levels;
- test equipment;
- test setups;
- test procedures.

The task of the described laboratory test is to find the reaction of the equipment under test (EUT) under specified operational conditions to surge voltages caused by switching and lightning effects.

It is not intended to test the capability of the EUT's insulation to withstand high-voltage stress. Direct injections of lightning currents, i.e. direct lightning strikes, are not considered in this standard.

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 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary (IEV)* (available at www.electropedia.org)

3 Terms, definitions and abbreviations

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050 as well as the following apply.

3.1.1

avalanche device

diode, gas tube arrestor, or other component that is designed to break down and conduct at a specified voltage

3.1.2

calibration

set of operations which establishes, by reference to standards, the relationship which exists, under specified conditions, between an indication and a result of a measurement

Note 1 to entry: This term is based on the "uncertainty" approach.

Note 2 to entry: The relationship between the indications and the results of measurement can be expressed, in principle, by a calibration diagram.

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-01-09]

3.1.3

clamping device

diode, varistor or other component that is designed to prevent an applied voltage from exceeding a specified value

3.1.4

combination wave generator

CWG

generator with 1,2/50 μs or 10/700 μs open-circuit voltage waveform and respectively 8/20 μs or 5/320 μs short-circuit current waveform

3.1.5

coupling network

CN

electrical circuit for the purpose of transferring energy from one circuit to another

3.1.6

coupling/decoupling network

CDN

combination of a coupling network and a decoupling network

3.1.7

decoupling network

DN

electrical circuit for the purpose of preventing surges applied to the EUT from affecting other devices, equipment or systems which are not under test

3.1.8

duration

3.1.8.1

duration

T_d

<surge voltage> time interval between the instant at which the surge voltage rises to 0,5 of its peak value, and then falls to 0,5 of its peak value (T_w)

$$T_d = T_w$$

SEE: Figures 2 and A.2

3.1.8.2 duration

T_d

<surge current for 8/20 μ s> virtual parameter defined as the time interval between the instant at which the surge current rises to 0,5 of its peak value, and then falls to 0,5 of its peak value (T_w), multiplied by 1,18

$$T_d = 1,18 \times T_w$$

SEE: Figure 3.

3.1.8.3 duration

T_d

<surge current for 5/320 μ s> time interval between the instant at which the surge current rises to 0,5 of its peak value, and then falls to 0,5 of its peak value (T_w)

$$T_d = T_w$$

SEE: Figure A.3.

3.1.9 effective output impedance

<surge generator> ratio of the peak open-circuit voltage to the peak short-circuit current at the same output port

3.1.10 electrical installation

assembly of associated electrical equipment having co-ordinated characteristics to fulfil purposes

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-10-01]

3.1.11 front time

3.1.11.1 front time

T_f

<surge voltage> virtual parameter defined as 1,67 times the interval T between the instants when the impulse is 30 % and 90 % of the peak value

SEE: Figures 2 and A.2.

3.1.11.2 front time

T_f

<surge current> virtual parameter defined as 1,25 times the interval T_r between the instants when the impulse is 10 % and 90 % of the peak value

SEE: Figures 3 and A.3.

3.1.12 high-speed communication lines

input/output lines which operate at transmission frequencies above 100 kHz

3.1.13

immunity

ability of a device, equipment or system to perform without degradation in the presence of an electromagnetic disturbance

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-20]

3.1.14

interconnection lines

I/O lines (input/output lines) and/or communication lines and/or low voltage d.c. input/output lines (≤ 60 V), where secondary circuits (isolated from the a.c. mains supply) are not subject to transient over-voltages (i.e. reliably-grounded, capacitively-filtered d.c. secondary circuits where the peak-to-peak ripple is less than 10 % of the d.c. component)

3.1.15

power port

port, at which the conductor or cable carrying the primary electrical power needed for the operation (functioning) of an apparatus or associated apparatus is connected to the apparatus

3.1.16

primary protection

means by which the majority of stressful energy is prevented from propagating beyond a designated interface

3.1.17

reference ground

part of the Earth considered as conductive, the electrical potential of which is conventionally taken as zero, being outside the zone of influence of any earthing (grounding) arrangement

[SOURCE: IEC 60050-195:1998, 195-01-01]

3.1.18

rise time

T_r

interval of time between the instants at which the instantaneous value of an impulse first reaches 10 % value and then 90 % value

SEE: Figures 3 and A.3.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-02-05, modified – the content of the note has been included in the definition and “pulse” has been changed to “impulse”.]

3.1.19

secondary protection

means by which the let-through energy from primary protection is suppressed

Note 1 to entry: It may be a special device or an inherent characteristic of the EUT.

3.1.20

surge

transient wave of electrical current, voltage or power propagating along a line or a circuit and characterized by a rapid increase followed by a slower decrease

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-08-11, modified – “surge” here applies to voltage, current and power]

3.1.21**symmetrical lines**

pair of symmetrically driven conductors with a conversion loss from differential to common mode of greater than 20 dB

3.1.22**system**

set of interdependent elements constituted to achieve a given objective by performing a specified function

Note 1 to entry: The system is considered to be separated from the environment and other external systems by an imaginary surface which cuts the links between them and the considered system. Through these links, the system is affected by the environment, is acted upon by the external systems, or acts itself on the environment or the external systems.

3.1.23**transient**, adjective and noun

pertaining to or designating a phenomenon or a quantity which varies between two consecutive steady states during a time interval short compared to the time scale of interest

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-02-01]

3.1.24**verification**

set of operations which is used to check the test equipment system (e.g. the test generator and its interconnecting cables) to demonstrate that the test system is functioning

Note 1 to entry: The methods used for verification may be different from those used for calibration.

Note 2 to entry: For the purposes of this basic EMC standard this definition is different from the definition given in IEC 60050-311:2001, 311-01-13.

3.2 Abbreviations

AE	Auxiliary equipment
CD	Coupling device
CDN	Coupling/decoupling network
CLD	Clamping device
CN	Coupling network
CWG	Combination wave generator
DN	Decoupling network
EFT/B	Electrical fast transient/burst
EMC	Electromagnetic compatibility
ESD	Electrostatic discharge
EUT	Equipment under test
GDT	Gas discharge tube
MU	Measurement uncertainty
PE	Protective earth
SPD	Surge protective device

4 General**4.1 Power system switching transients**

Power system switching transients can be separated into transients associated with:

- a) major power system switching disturbances, such as capacitor bank switching;
- b) minor local switching activity or load changes in the power distribution system;
- c) resonating circuits associated with switching devices, e.g. thyristors, transistors;
- d) various system faults, such as short-circuits and arcing faults to the grounding system of the installation.

4.2 Lightning transients

The major mechanisms by which lightning produces surge voltages are the following:

- a) direct lightning stroke to an external (outdoor) circuit injecting high currents that produce voltages by either flowing through ground resistance or flowing through the impedance of the external circuit;
- b) indirect lightning stroke (i.e. a stroke between or within clouds or to nearby objects which produces electromagnetic fields) that induces voltages/currents on the conductors outside and/or inside a building;
- c) lightning ground current flow resulting from nearby direct-to-earth discharges coupling into the common ground paths of the grounding system of the installation.

The rapid change of voltage and flow of current which can occur as a result of the operation of a lightning protection device can induce electromagnetic disturbances into adjacent equipment.

4.3 Simulation of the transients

The characteristics of the test generator are defined to simulate the above-mentioned phenomena as closely as possible.

If the source of interference is in the same circuit as the victim equipment, for example in the power supply network (direct coupling), the generator may simulate a low source impedance at the ports of the EUT.

If the source of interference is not in the same circuit as the victim equipment (indirect coupling), then the generator may simulate a higher impedance source.

5 Test levels

The preferred range of test levels is given in Table 1.

Table 1 – Test levels

Level	Open-circuit test voltage	
	kV	
	Line-to-line	Line-to-ground ^b
1	---	0,5
2	0,5	1
3	1	2
4	2	4
X ^a	Special	Special
^a "X" can be any level, above, below or in between the others. The level shall be specified in the dedicated equipment specification. ^b For symmetrical interconnection lines the test can be applied to multiple lines simultaneously with respect to ground, i.e. "lines to ground".		

The test levels shall be selected according to the installation conditions; classes of installation are given in Annex C.

The test shall be applied at all test levels in Table 1 up to and including the specified test level (see 8.3).

For selection of the test levels for the different interfaces, refer to Annex B.

6 Test instrumentation

6.1 General

Two types of combination wave generators are specified. Each has its own particular applications, depending on the type of port to be tested. The 10/700 μ s combination wave generator is used to test ports intended for connection to outdoor symmetrical communication lines (see Annex A). The 1,2/50 μ s combination wave generator is used in all other cases.

6.2 1,2/50 μ s combination wave generator

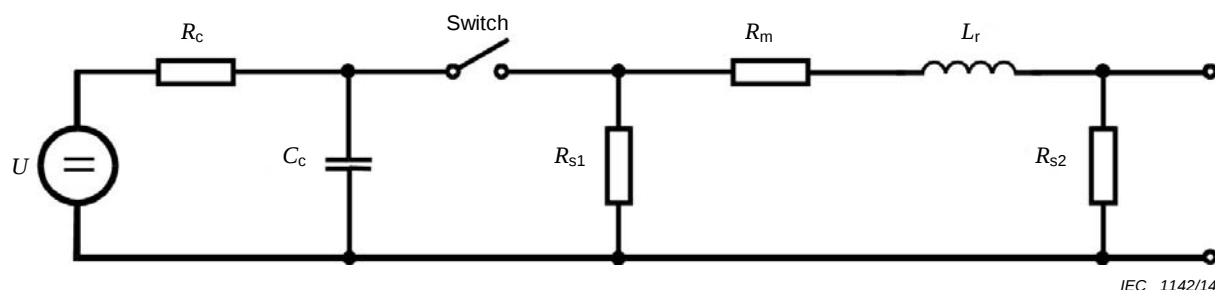
6.2.1 General

It is the intention of this standard that the output waveforms meet specifications at the point where they are to be applied to the EUT. Waveforms are specified as open-circuit voltage and short-circuit current and therefore shall be measured without the EUT connected. In the case of an a.c. or d.c. powered product where the surge is applied to the a.c. or d.c. supply lines, the output waveforms shall be as specified in Tables 4, 5, and 6. In the case where the surge is applied directly from the generator output terminals, the waveforms shall be as specified in Table 2. It is not intended that the waveforms meet specifications both at the generator output and at the output of coupling/decoupling networks simultaneously, but only as applied to the EUT.

This generator is intended to generate a surge having:

- an open-circuit voltage front time of 1,2 μ s;
- an open-circuit voltage duration of 50 μ s;
- a short-circuit current front time of 8 μ s;
- a short-circuit current duration of 20 μ s.

A simplified circuit diagram of the generator is given in Figure 1. The values for the different components R_{S1} , R_{S2} , R_m , L_r , and C_c are selected so that the generator delivers a 1,2/50 μ s voltage surge at open-circuit conditions and an 8/20 μ s current surge into a short-circuit.



Key

U	High-voltage source
R_c	Charging resistor
C_c	Energy storage capacitor
R_s	Impulse duration shaping resistors
R_m	Impedance matching resistor
L_r	Rise time shaping inductor

Figure 1 – Simplified circuit diagram of the combination wave generator

The ratio of peak open-circuit output voltage to peak short-circuit current at the same output port of a combination wave generator shall be considered as the effective output impedance. For this generator, the ratio defines an effective output impedance of 2 Ω .

When the generator output is connected to the EUT, the waveform of the voltage and current is a function of the EUT input impedance. This impedance may change during surges to equipment due either to proper operation of the installed protection devices, or to flash over or component breakdown if the protection devices are absent or inoperative. Therefore, the 1,2/50 μ s voltage and the 8/20 μ s current waves should be available from the same generator output as required by the load.

6.2.2 Performance characteristics of the generator

Polarity	positive and negative
Phase shifting	in a range between 0° to 360° relative to the phase angle of the a.c. line voltage to the EUT with a tolerance of $\pm 10^\circ$
Repetition rate	1 per minute or faster
Open-circuit peak output voltage	adjustable from 0,5 kV to the required test level
Waveform of the surge voltage	see Table 2 and Figure 2
Output voltage setting tolerance	see Table 3
Short-circuit peak output current	depends on peak voltage setting (see Tables 2 and 3)
Waveform of the surge current	see Table 2 and Figure 3

NOTE The time parameters are valid for the short-circuit current at the generator output without a 10 Ω resistor (see 6.3).

Short-circuit output current tolerance see Table 3

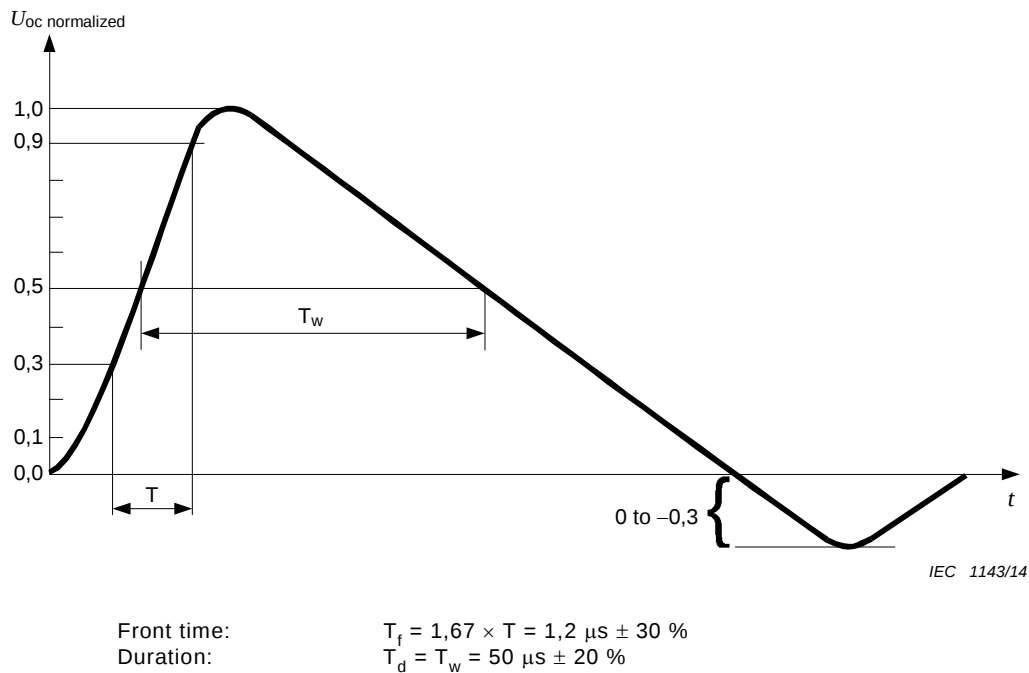
Table 2 – Definitions of the waveform parameters 1,2/50 μs and 8/20 μs

	Front time T_f μs	Duration T_d μs
Open-circuit voltage	$T_f = 1,67 \times T = 1,2 \pm 30 \%$	$T_d = T_w = 50 \pm 20 \%$
Short-circuit current	$T_f = 1,25 \times T_r = 8 \pm 20 \%$	$T_d = 1,18 \times T_w = 20 \pm 20 \%$

Table 3 – Relationship between peak open-circuit voltage and peak short-circuit current

Open-circuit peak voltage ± 10 % at generator output	Short-circuit peak current ± 10 % at generator output
0,5 kV	0,25 kA
1,0 kV	0,5 kA
2,0 kV	1,0 kA
4,0 kV	2,0 kA

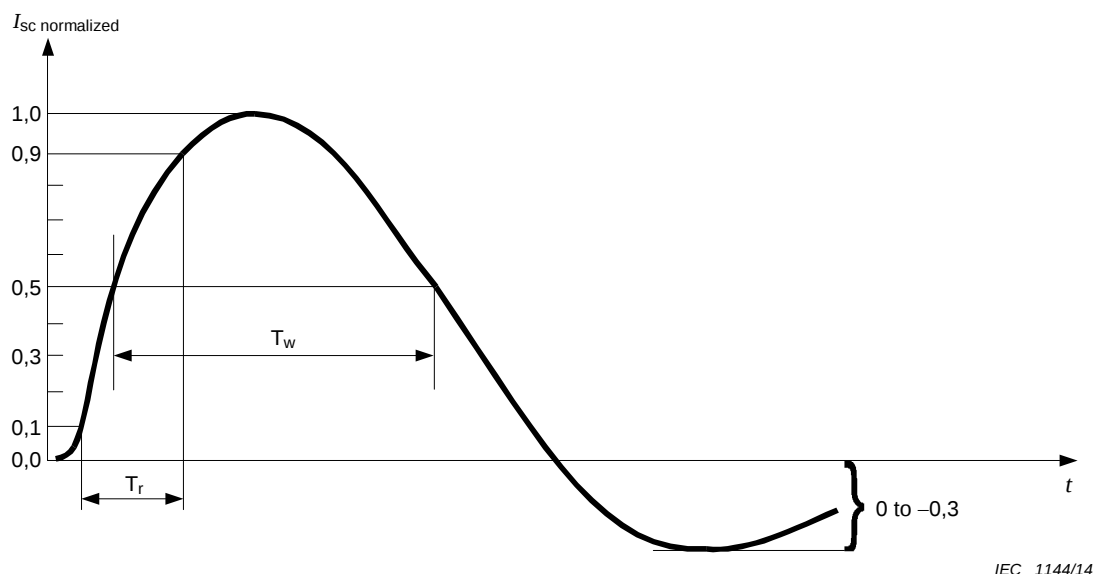
A generator with floating output shall be used.



NOTE The value 1,67 is the reciprocal of the difference between the 0,9 and 0,3 thresholds.

Figure 2 – Waveform of open-circuit voltage (1,2/50 μs) at the output of the generator with no CDN connected

The undershoot specification applies only at the generator output. At the output of the coupling/decoupling network there is no limitation on undershoot or overshoot.



$$\begin{aligned} \text{Front time:} \quad T_f &= 1,25 \times T_r = 8 \mu\text{s} \pm 20 \% \\ \text{Duration:} \quad T_d &= 1,18 \times T_w = 20 \mu\text{s} \pm 20 \% \end{aligned}$$

NOTE 1 The value 1,25 is the reciprocal of the difference between the 0,9 and 0,1 thresholds.

NOTE 2 The value 1,18 is derived from empirical data.

Figure 3 – Waveform of short-circuit current (8/20 μs) at the output of the generator with no CDN connected

The undershoot specification applies only at the generator output. At the output of the coupling/decoupling network there is no limitation on undershoot or overshoot.

6.2.3 Calibration of the generator

The test generator characteristics shall be calibrated in order to establish that they meet the requirements of this standard. For this purpose the following procedure shall be undertaken (see also Annex G).

The generator output shall be connected to a measuring system with a sufficient bandwidth, voltage and current capability to monitor the characteristics of the waveforms. Annex E provides information concerning the bandwidth of the surge waveforms.

If a current transformer (probe) is used to measure short-circuit current it should be selected so that saturation of the magnetic core does not take place. The lower (-3 dB) corner frequency of the probe should be less than 100 Hz.

The characteristics of the generator shall be measured through an external capacitor of 18 μF in series with the output, both under open-circuit (load greater than or equal to 10 k Ω) and short-circuit conditions at the same set voltage. If the 18 μF capacitor is implemented in the generator, no external 18 μF capacitor is required for calibration.

All performance characteristics stated in 6.2.2, with the exception of phase shifting, shall be met at the output of the generator. Phase shifting performance shall be met at the output of the CDN at 0°, 90°, 180° and 270° at one polarity.

NOTE When an additional internal or external resistor is added to the generator output to increase the effective source impedance from 2 Ω to e.g. 12 Ω or 42 Ω , according to the requirements of the test setup, the front time and the duration of test impulses at the output of the coupling network can be significantly changed.

6.3 Coupling/decoupling networks

6.3.1 General

Each coupling/decoupling network (CDN) consists of a coupling network and a decoupling network as shown in the examples of Figures 5 through 11.

NOTE The coupling resistors and/or capacitors can be part of the CDN or part of the generator or discrete external components.

On the a.c. or d.c. power lines, the decoupling network provides relatively high impedance to the surge waveform but at the same time, allows current to flow to the EUT. This impedance allows the voltage waveform to be developed at the output of the coupling/decoupling network and prevents the surge current from flowing back into the a.c. or d.c. power supply. High voltage capacitors are used as the coupling element, sized to allow the full waveform durations to be coupled to the EUT. The coupling/decoupling network for the a.c. or d.c. power supply shall be designed so that the open-circuit voltage waveform and short-circuit current waveform meet the requirements of Tables 4, 5 and 6.

For I/O and communication lines, the series impedance of the decoupling network limits the available bandwidth for data transmission. Coupling elements can be capacitors, in cases where the line tolerates the capacitive loading effects, clamping devices or arrestors. When coupling to interconnection lines, the waveforms may be distorted by the coupling mechanisms which are described in 6.3.3.

Each coupling/decoupling network shall satisfy the requirements of 6.3.2 and 6.3.3 and shall comply with the calibration requirements in 6.4. Their use is made according to the following flowchart:

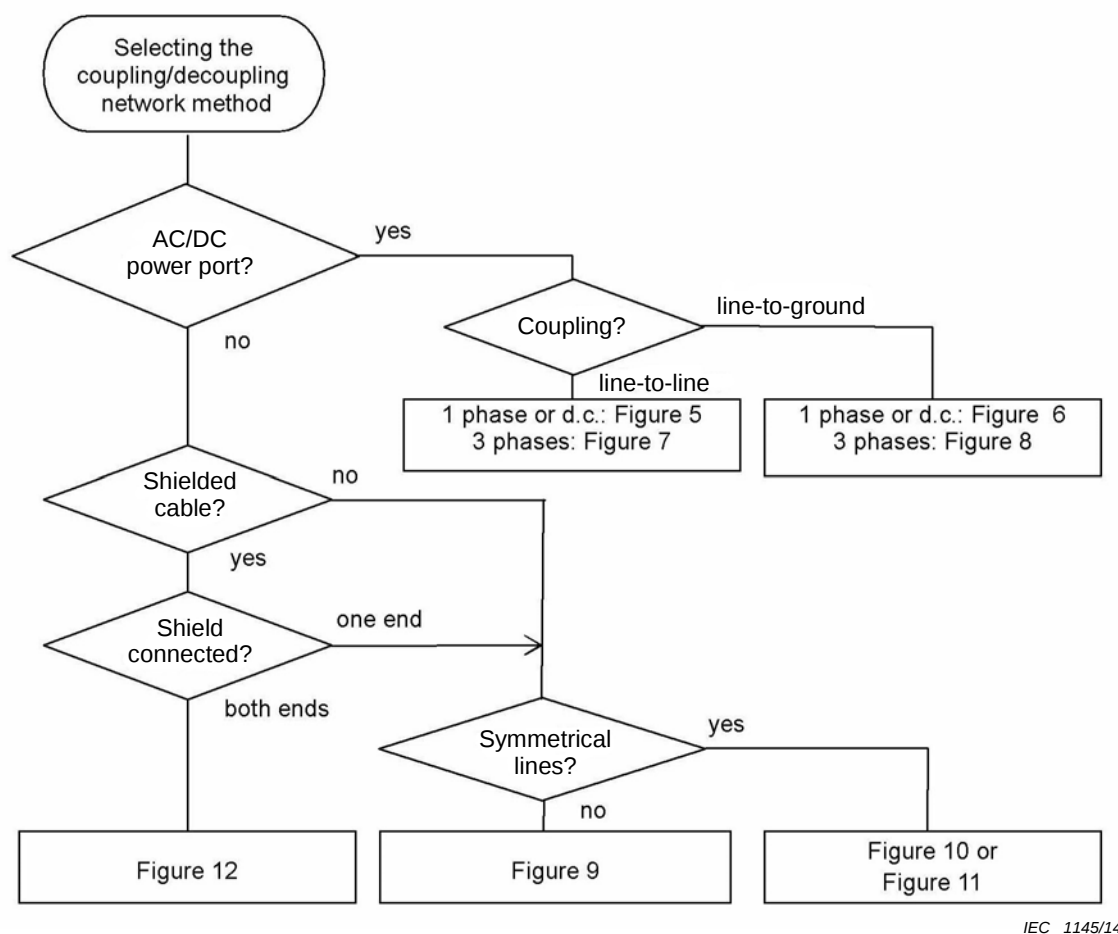


Figure 4 – Selection of coupling/decoupling method

6.3.2 Coupling/decoupling networks for a.c./d.c. power port rated up to 200 A per line

The peak amplitude, front time and duration shall be verified, for voltage under open-circuit conditions and for current under short-circuit conditions, at the EUT output port. The waveform parameters measured at the EUT port of the CDN are dependent upon the generator source and as such are only valid for the particular generator/CDN combination tested. The 30 % undershoot specification applies only at the generator output. At the output of the coupling/decoupling network there is no limitation on undershoot. The CDN shall be connected to a measuring system with a sufficient bandwidth, voltage and current capability to monitor the characteristics of the waveforms.

The decoupling inductance shall be selected by the CDN manufacturer so that the voltage drop across the CDN shall not exceed 10 % of the CDN input voltage at the specified current rating, but should not exceed 1,5 mH.

To prevent unwanted voltage drops in the CDN, the value of the decoupling element shall be reduced for CDNs rated at > 16 A. As a consequence, the peak voltage and the duration of the open-circuit voltage waveform which is measured with no load can vary within the tolerances given in Tables 4, 5 and 6 below. High current EUTs represent lower impedances and cause surges close to short-circuit conditions. Therefore, for high current CDNs it is the current waveform which is predominant. Large tolerances on the voltage definition are acceptable.

**Table 4 – Voltage waveform specification
at the EUT port of the CDN**

Surge voltage parameters under open-circuit conditions ^{a, b}	Coupling impedance	
	18 μ F (line-to-line)	9 μ F + 10 Ω (line-to-ground)
Peak voltage		
Current rating ≤ 16 A	Set voltage +10 %/-10 %	Set voltage +10 %/-10 %
16 A < current rating ≤ 32 A	Set voltage +10 %/-10 %	Set voltage +10 %/-10 %
32 A < current rating ≤ 63 A	Set voltage +10 %/-10 %	Set voltage +10 %/-15 %
63 A < current rating ≤ 125 A	Set voltage +10 %/-10 %	Set voltage +10 %/- 20 %
125 A < current rating ≤ 200 A	Set voltage +10 %/-10 %	Set voltage +10 %/- 25 %
Front time	1,2 μ s $\pm$ 30 %	1,2 μ s $\pm$ 30 %
Duration		
Current rating ≤ 16 A	50 μ s +10 μ s/-10 μ s	50 μ s +10 μ s/-25 μ s
16 A < current rating ≤ 32 A	50 μ s +10 μ s/-15 μ s	50 μ s +10 μ s/-30 μ s
32 A < current rating ≤ 63 A	50 μ s +10 μ s/-20 μ s	50 μ s +10 μ s/-35 μ s
63 A < current rating ≤ 125 A	50 μ s +10 μ s/-25 μ s	50 μ s +10 μ s/-40 μ s
125 A < current rating ≤ 200 A	50 μ s +10 μ s/-30 μ s	50 μ s +10 μ s/-45 μ s
NOTE The current rating in Table 4 is the CDN rating.		
^a The measurement of the surge voltage parameters shall be performed with the a.c./d.c. power port of the CDN open-circuit. ^b The values shown in this table are for a CWG with ideal values. In case the CWG generates parameter values close to the tolerances, the additional tolerances of the CDN may generate values out of tolerances for the CWG-CDN combination.		

**Table 5 – Current waveform specification at the EUT port
of the CDN**

Surge current parameters under short-circuit conditions ^a	Coupling impedance	
	18 μ F (line-to-line)	9 μ F + 10 Ω (line-to-ground) ^b
Front time	$T_f = 1,25 \times T_r = 8 \mu\text{s} \pm 20 \%$	$T_f = 1,25 \times T_r = 2,5 \mu\text{s} \pm 30 \%$
Duration	$T_d = 1,18 \times T_w = 20 \mu\text{s} \pm 20 \%$	$T_d = 1,04 \times T_w = 25 \mu\text{s} \pm 30 \%$
^a The measurement of the surge current parameters shall be performed with the a.c./d.c. power port of the CDN open-circuit. ^b The value 1,04 is derived from empirical data.		

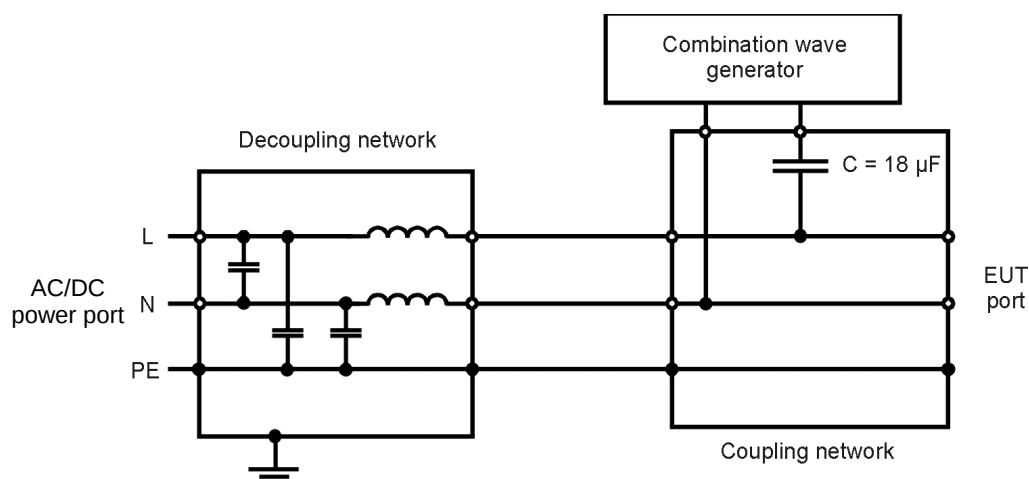
Table 6 – Relationship between peak open-circuit voltage and peak short-circuit current at the EUT port of the CDN

Open-circuit peak voltage $\pm 10\%$ at EUT port of the CDN	Short-circuit peak current $\pm 10\%$ at EUT port of the CDN (18 μF)	Short-circuit peak current $\pm 10\%$ at EUT port of the CDN (9 $\mu\text{F} + 10\ \Omega$)
0,5 kV	0,25 kA	41,7 A
1,0 kV	0,5 kA	83,3 A
2,0 kV	1,0 kA	166,7 A
4,0 kV	2,0 kA	333,3 A

Refer to Annex H for EUTs having a rated input current above 200 A per line.

IEC 1145/14

The above mentioned characteristics are applicable for single-phase systems (line, neutral, protective earth) and three-phase systems (three-phase wires, neutral and protective earth).



IEC 1146/14

Figure 5 – Example of coupling network and decoupling network for capacitive coupling on a.c./d.c. lines line-to-line coupling

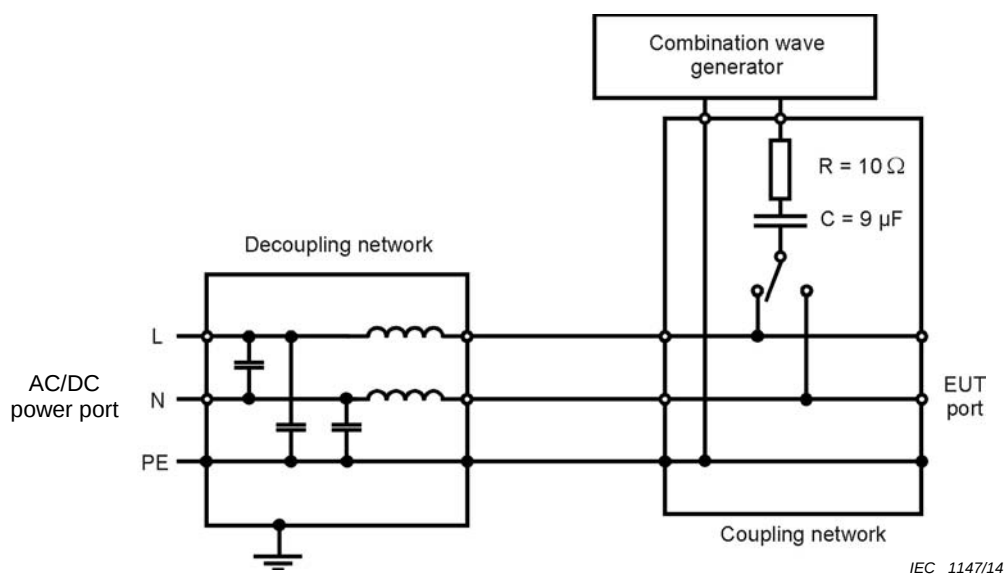
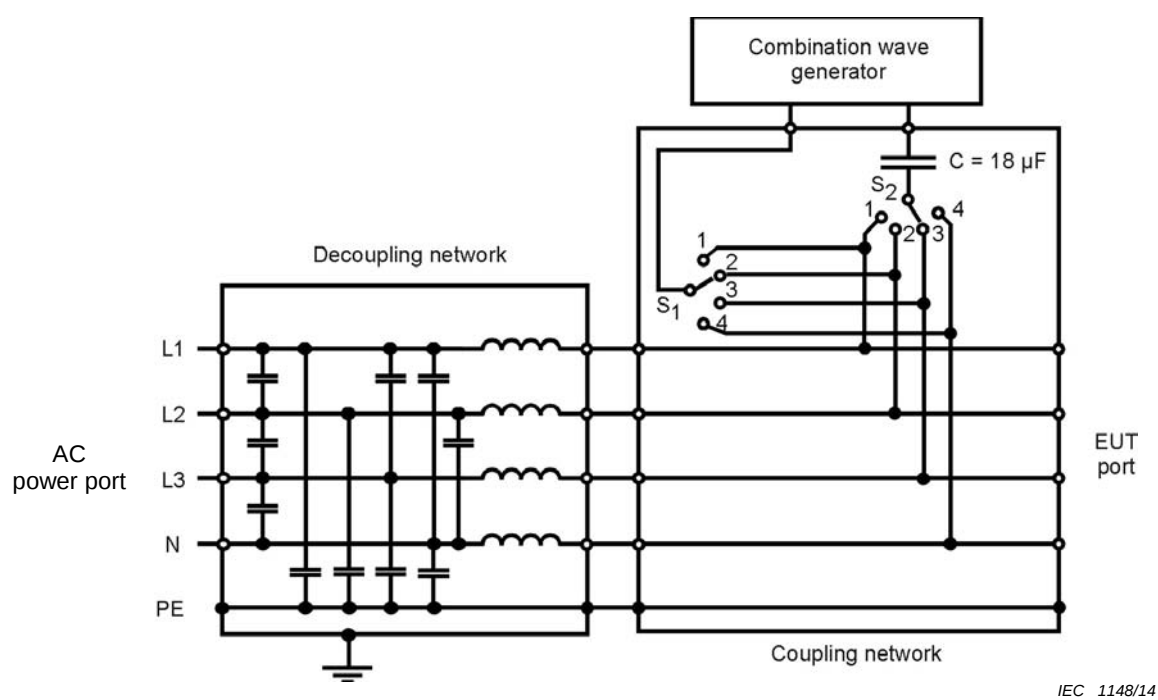


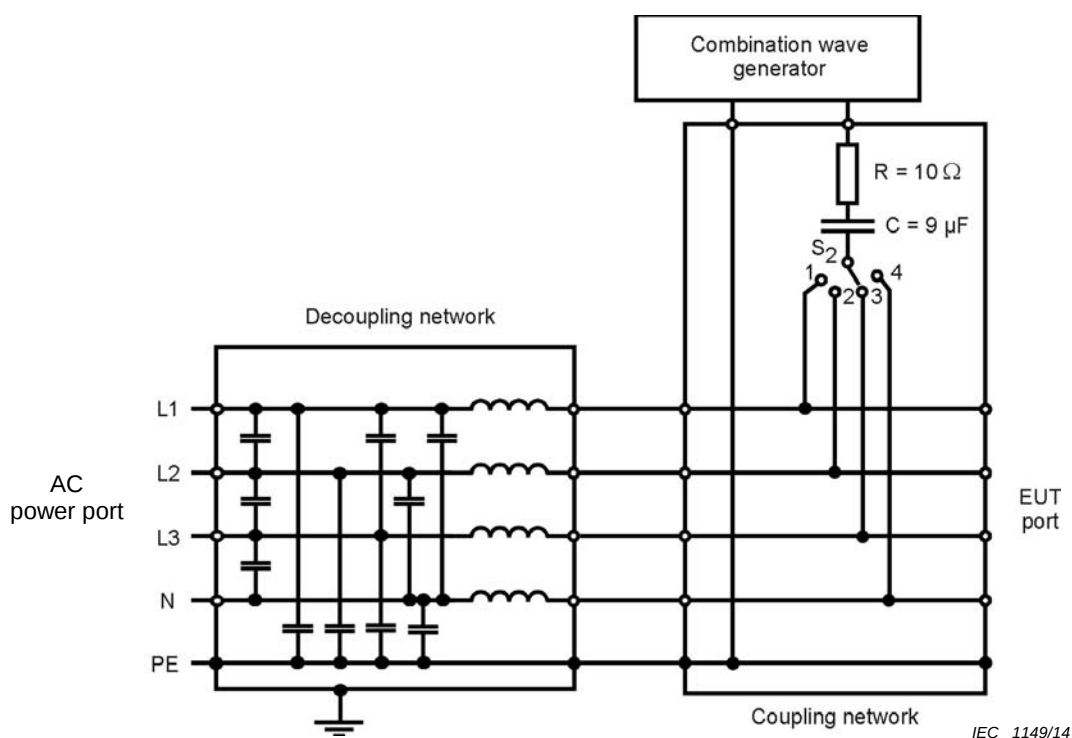
Figure 6 – Example of coupling network and decoupling network for capacitive coupling on a.c./d.c. lines: line-to-ground coupling



Switches S_1 and S_2 are used to select individual lines for test.

During testing, the position of switch S_2 is different from the position of switch S_1 .

Figure 7 – Example of coupling network and decoupling network for capacitive coupling on a.c. lines (3 phases): line L2-to-line L3 coupling



Switch S_2 is used to select individual lines for test.

Figure 8 – Example of coupling network and decoupling network for capacitive coupling on a.c. lines (3 phases): line L3-to-ground coupling

6.3.3 Coupling/decoupling networks for interconnection lines

6.3.3.1 General

Subclause 6.3.3 describes the CDN for all types of interconnection lines except for unshielded outdoor symmetrical communication lines intended to interconnect to widely dispersed systems, which are described in Annex A.

The coupling method shall be selected as a function of the interconnection cable types, the circuits, and the operational conditions supported by the product specification/standard.

Coupling to unshielded lines requires coupling devices (CD) that ensure sufficient insulation between the interconnection lines and the surge generator, but allow efficient transfer of the surge impulse.

Any CD, such as capacitors or gas discharge tubes (GDT) capable of meeting the coupling and insulation functions may be used.

Coupling using capacitors maintains waveform integrity, but may have filtering effects on fast data transfer.

Avalanche devices like GDTs have a low parasitic capacitance and allow connection to most types of interconnection lines. The breakdown voltage of the coupling device shall be selected to be as low as possible, but higher than the maximum working voltage of the lines to be tested.

All CDNs shall comply with the calibration requirements in 6.4.

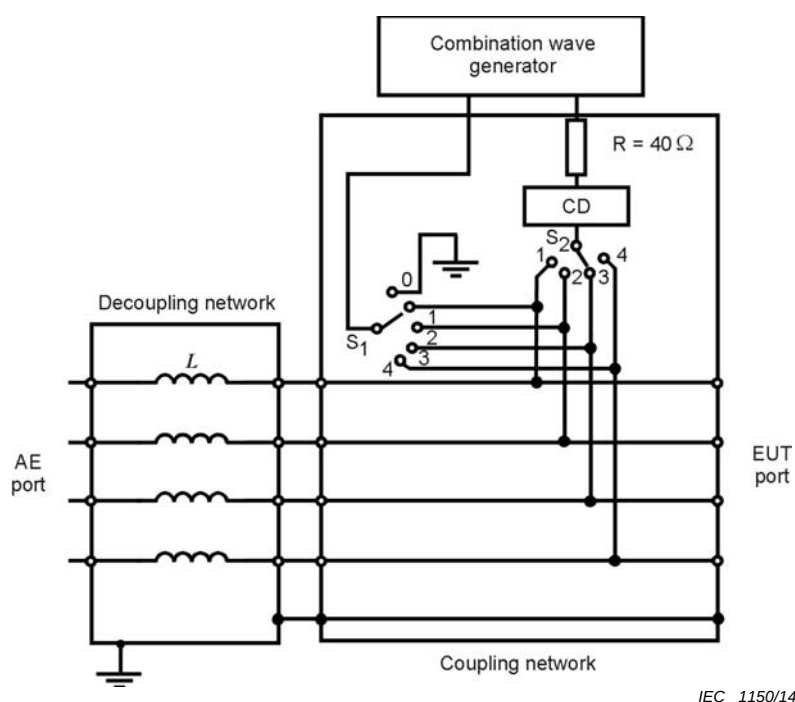
Current compensated inductors shall be used in the decoupling network if the signal lines are symmetrical.

The required decoupling performance on the AE side depends on the application specification and determines the value of the decoupling elements (inductors, resistors, capacitors, GDTs, clamping devices, etc.) to be used. In order to ensure the best possible decoupling performance and AE protection, a case specific analysis is required for the choice of the decoupling elements.

6.3.3.2 Coupling/decoupling surges to unshielded, unsymmetrical interconnection lines

Coupling to unshielded unsymmetrical interconnection lines can be to both line-to-line and line-to-ground. Decoupling is provided with one decoupling choke per line.

An example of a coupling/decoupling network for unshielded unsymmetrical interconnection lines is shown in Figure 9.



IEC 1150/14

- 1) Switch S_1
 - line-to-ground: position 0
 - line-to-line: positions 1 to 4
- 2) Switch S_2 : positions 1 to 4
 - during testing, the position of switch S_2 is different from the position of switch S_1

NOTE CD: see Table 8.

Figure 9 – Example of coupling network and decoupling network for unshielded unsymmetrical interconnection lines: line-to-line and line-to-ground coupling

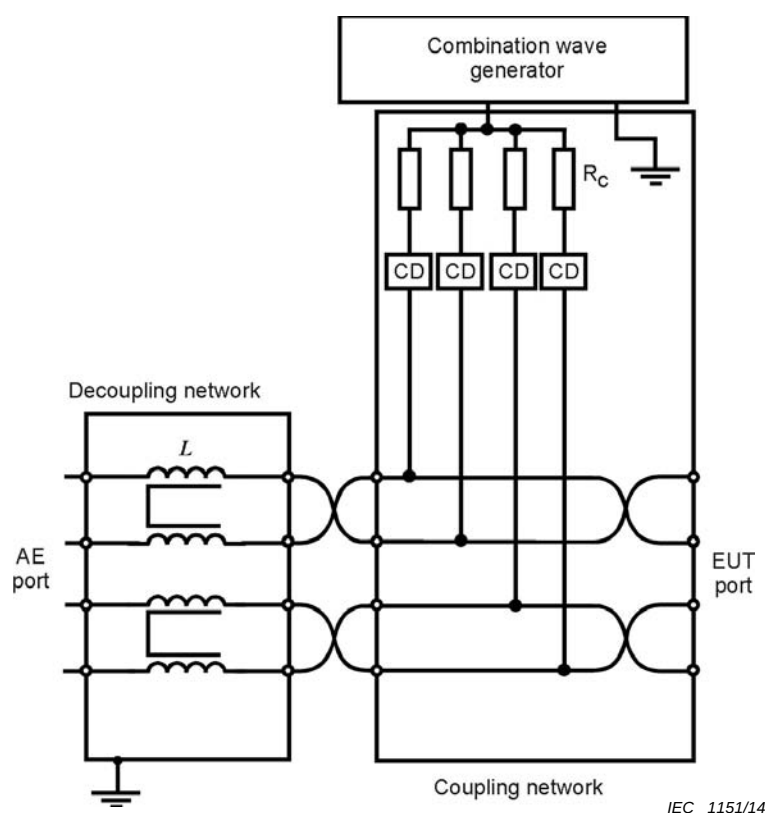
6.3.3.3 Coupling/decoupling networks for surges to unshielded, symmetrical interconnection lines

Due to the characteristic nature of unshielded wiring, coupling to symmetrical interconnection lines (twisted pairs) is always in common mode, i.e. coupling between all lines to ground.

The energy transfer from the surge generator to the EUT is considered to be a constant which is independent from the number of lines in the cable, equivalent to a coupling impedance of about $40\ \Omega$. This equivalent coupling impedance is split between the lines in the cable. For this reason the coupling resistor value used on each line in a pair is a multiple of $40\ \Omega$. This rule applies for cables with up to 8 lines/4 pairs. The CDN shall be selected to match the number of lines/pairs existing in the cable; but for cables with more than 8 lines/4 pairs the pairs shall be split and linked through several 8-line/4-pair CDNs, using coupling resistors values as for testing 8-line/4-pair cables.

Common mode chokes are used for decoupling allowing fast data transfer and ensuring efficient common mode decoupling.

One example of a coupling decoupling network for unshielded symmetrical interconnection lines is shown in Figure 10.



Calculation of coupling resistor values R_C :

Example for $n = 4$:

$$R_C = 4 \times 40\ \Omega = 160\ \Omega$$

The coupling resistors values are selected so that their resistance in parallel is equivalent to $40\ \Omega$. A test on a four-line port for example, requires four resistors each of $160\ \Omega$.

L with current compensation may include all 4 coils or only pairs (as shown in Figure 10) to be effective.

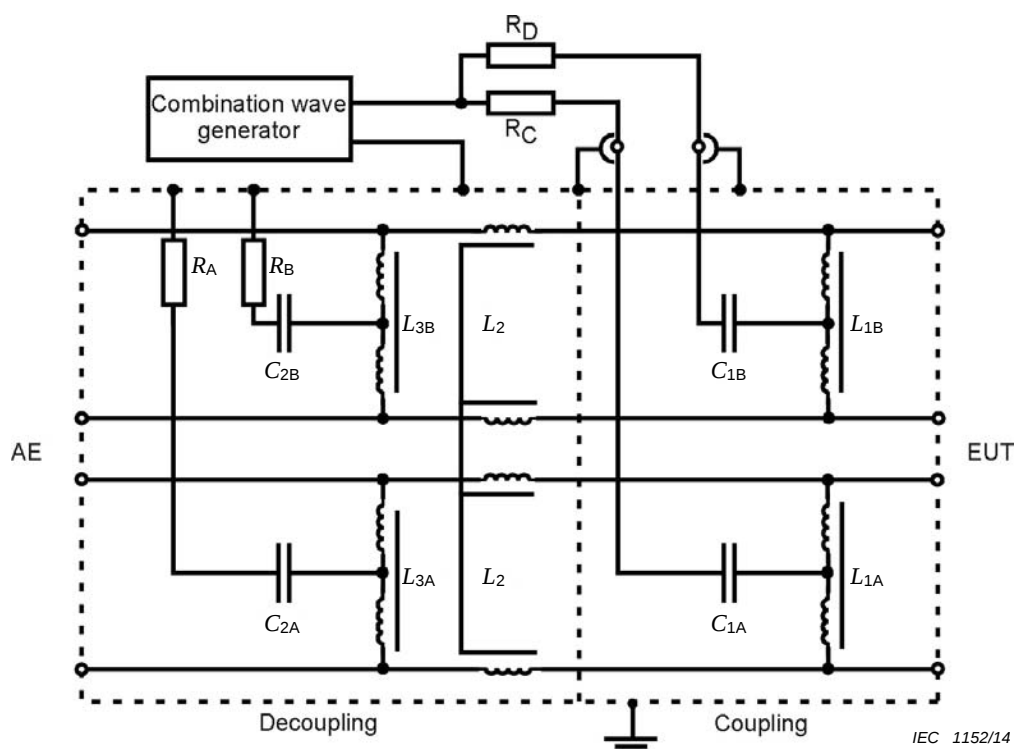
NOTE CD: see Table 10.

Figure 10 – Example of coupling and decoupling network for unshielded symmetrical interconnection lines: lines-to-ground coupling

For high-speed interconnection lines, the examples given in Figure 10 and Figure 11 can be used.

In order to avoid the coupling and decoupling capacitors having a filtering effect on the data transfer, a balanced high frequency design associating the coupling capacitors with coupling chokes is required.

Figure 11 shows an example of a coupling and decoupling network for symmetrical interconnection lines allowing tests with interconnection speed up to 1 000 Mbit/s.



Calculation of coupling resistors and capacitors values:

R_C and R_D : The coupling resistors values are selected so that their resistance in parallel is equivalent to 40 Ω . So, a test on a two-pair port for example, requires two resistors each of 80 Ω , and a test on a four-pair port, requires four resistors each of 160 Ω .

R_A , R_B , C_1 , C_2 , L_1 , L_2 , L_3 : All components are selected so that the specified impulse parameters are met.

Figure 11 – Example of coupling and decoupling network for unshielded symmetrical interconnection lines: lines-to-ground coupling via capacitors

Where normal functioning cannot be achieved because of the impact of the CDN on the EUT, product committees should specify appropriate operation or that no surge immunity test is required.

6.4 Calibration of coupling/decoupling networks

6.4.1 General

In order to compare the test results from different CDNs, the CDN shall be calibrated periodically. For this purpose, the following procedure is necessary to measure the most essential characteristics of the CDN. The waveform parameters measured at the EUT port of the CDN are dependent upon the generator source and as such are only valid for the particular generator/CDN combination tested.

The measuring equipment used for the calibration of the CDN shall satisfy the same requirements applicable to the calibration of the generator (see 6.2.3).

6.4.2 Calibration of CDNs for a.c./d.c. power port rated up to 200 A per line

The characteristics of the CDN shall be measured under open-circuit conditions (load greater than or equal to 10 k Ω) and under short-circuit conditions (less than 0,1 Ω) at the same set voltage.

The residual surge voltage measured between surged lines and ground on the a.c./d.c. power port of the decoupling network with EUT and mains supply not connected shall not exceed 15 % of the maximum applied test voltage or twice the rated peak voltage of the CDN, whichever is higher.

The unwanted surge voltage measured between non-surged lines and ground with EUT and mains supply not connected shall not exceed 15 % of the maximum applied test voltage (open-circuit).

NOTE Due to the structure of the coupling/decoupling network a significant part of the test voltage can appear as a line-to-line voltage during line-to-ground coupling. This voltage can be higher than the corresponding line-to-line test level in the case of a high impedance EUT (see 7.3. for further information).

All performance characteristics stated in 6.3.2 Tables 4, 5 and 6 shall be met at the output of the CDN with the a.c./d.c. power port open-circuit.

6.4.3 Calibration of CDNs for interconnection lines

6.4.3.1 General

It is recommended and sufficient to calibrate the CDNs for interconnection lines in the same configuration (same coupling and decoupling elements fitted) that will be used for testing.

The residual surge voltage measured between the surged lines and ground on the AE side of the CDN, with the EUT and AE equipment disconnected, shall be measured and recorded so that users of the CDN may determine if the protection is sufficient for use with a particular AE.

6.4.3.2 Calibration of CDNs for unsymmetrical interconnection lines

Measurements shall be performed with the impulse applied to one coupling path at a time.

The peak amplitude, the front time and impulse duration shall be measured for the CDN rated impulse voltage and current at the EUT output port according to Table 7.

The inputs of the DN at the AE side shall be short-circuited to PE for the impulse voltage and impulse current measurement at the EUT output port.

The residual voltage value depends on the protection requirements of the AE. Therefore no limits are given in this standard.

Table 7 – Summary of calibration process for CDNs for unsymmetrical interconnection lines

	Coupling	Measuring	AE side	EUT side
Surge voltage at EUT side	Single line to PE	Single line Peak voltage, front time, duration	All lines shorted to PE	Open-circuit
Surge current at EUT side	Single line to PE	Single line Peak current, front time, duration	All lines shorted to PE	Short-circuit
Surge voltage at EUT side	Single line-to-line	Single line Peak voltage, front time, duration	All lines shorted to PE	Open-circuit
Surge current at EUT side	Single line-to-line	Single line Peak current, front time, duration	All lines shorted to PE	Short-circuit
Residual voltage on AE side (with protection elements)	Single line to PE	Line to PE at a time Peak voltage	Open-circuit	Open-circuit

The intention of this calibration process is to check the proper function of the components, the saturation of decoupling chokes, the decoupling effect of the DN part, the current capability and the coupling effect of the CN part. The coupling method described in the above paragraphs has an influence on the voltage and current wave forms. The parameters for the calibration are defined in Table 8.

Table 8 – Surge waveform specifications at the EUT port of the CDN for unsymmetrical interconnection lines

Coupling method	CWG output voltage _{a, b, c}	V_{oc} at CDN EUT output $\pm 10 \%$	Voltage front time T_f $T_f = 1,67 \times T_r$ $\pm 30 \%$	Voltage duration T_d $T_d = T_w$ $\pm 30 \%$	I_{sc} at CDN EUT output $\pm 20 \%$	Current front time T_f $T_f = 1,25 \times T_r$ $\pm 30 \%$	Current duration T_d $T_d = 1,18 \times T_w$ $\pm 30 \%$
Line to PE $R = 40 \Omega$ $CD = 0,5 \mu F$	4 kV	4 kV	1,2 μs	38 μs	87 A	1,3 μs	13 μs
Line to PE $R = 40 \Omega$ $CD = GDT$	4 kV	4 kV	1,2 μs	42 μs	95 A	1,5 μs	48 μs
Line-to-line $R = 40 \Omega$ $CD = 0,5 \mu F$	4 kV	4 kV	1,2 μs	42 μs	87 A	1,3 μs	13 μs
Line-to-line $R = 40 \Omega$ $CD = GDT$	4 kV	4 kV	1,2 μs	47 μs	95 A	1,5 μs	48 μs
^a It is recommended to calibrate the CDN at the highest rated impulse voltage, as this will minimise the effects of the switching noise generated by CLDs and GDTs. The value shown in the table is for a generator setting of 4 kV. In case the CDN is rated for another maximum impulse voltage, the calibration shall be done at this maximum rated impulse voltage. The short-circuit peak current specification shall be adapted accordingly. For example, if the maximum voltage is 1 kV the short-circuit current value shown in this table shall be multiplied by 1/4. ^b Coupling via gas arrestors, clamping or avalanche devices will show some switching noise on the impulse waveform. Working with the highest possible impulse voltage will minimise their impact on measurements; it is recommended to neglect the switching noise for the front times and duration values measurements. ^c The values shown in this table are for a CWG with ideal values. In case the CWG generates parameter values close to the tolerances, the additional tolerances of the CDN may generate values out of tolerances for the CWG-CDN combination.							

6.4.3.3 Calibration of CDNs for symmetrical interconnection lines

Calibration measurements shall be performed as indicated in Table 9 at the CDN rated impulse voltage. The peak amplitude, the front time and duration shall be measured at the EUT output port according to Table 9.

The inputs of the DN at the auxiliary equipment (AE) shall be short-circuited to PE for the voltage and current measurements at the EUT output port.

The residual voltage value depends on the protection requirements of the AE. Therefore no limits are given in this standard.

It is recommended that the open-circuit voltage between wires of different pairs is also measured. A differential voltage between pairs can produce false failures in EUTs that are designed to operate in highly balanced networks. No limit has been proposed for this value as the tolerance is dependent upon the design of the EUT.

**Table 9 – Summary of calibration process for CDNs
for symmetrical interconnection lines**

	Coupling	Measuring	AE side	EUT side
Surge voltage at EUT side	Common mode – all lines to PE 40 Ω path ^a	All lines shorted together Peak voltage, front time, duration	All lines shorted to PE	Open-circuit – all lines connect together
Surge current at EUT side	Common mode – all lines to PE 40 Ω path ^a	All lines shorted together Peak current, front time, duration	All lines shorted to PE	All lines shorted to PE
Residual voltage on AE side (with protection elements)	Common mode – all lines to PE 40 Ω path ^a	Each line to PE in turn Peak voltage	Open-circuit	Open-circuit
^a A 40 Ω path means that the transfer impedance is always 40 Ω . This means that for coupling to 1 pair 80 Ω per line or 40 Ω per pair are used, for coupling to 2 pairs 160 Ω per line or 80 Ω per pair are used, for coupling to 4 pairs 320 Ω per line or 160 Ω per pair are used.				

The intention of this calibration process is to check the proper function of the components, the saturation of decoupling chokes, the decoupling effect of the DN part, the current capability and the coupling effect of the CN part. The coupling method described in the above paragraphs has an influence on the voltage and current wave forms. The parameters for the calibration are defined in Table 10.

**Table 10 – Surge waveform specifications at the EUT port
of the CDN for symmetrical interconnection lines**

Coupling method	CWG output voltage ^{a b c}	V_{OC} at CDN EUT output $\pm 10 \%$	Voltage front time T_f $T_f = 1,67 \times T_r$ $\pm 30 \%$	Voltage duration T_d $T_d = T_w$ $\pm 30 \%$	I_{SC} at CDN EUT output $\pm 20 \%$	Current front time T_f $T_f = 1,25 \times T_r$ $\pm 30 \%$	Current duration T_d $T_d = 1,18 \times T_w$ $\pm 30 \%$
Common mode CD ^d , 40 Ω path	2 kV	2 kV	1,2 μ s	45 μ s	48 A	1,5 μ s	45 μ s
^a It is recommended to calibrate the CDN at the highest rated impulse voltage, as this will minimise the effects of the switching noise generated by CLDs and GDTs. The value shown in the table is for a generator setting of 2 kV. In case the CDN is rated for another maximum impulse voltage, the calibration shall be done at this maximum rated impulse voltage. The short-circuit peak current specification shall be adapted accordingly. For example, if the maximum voltage is 4 kV, the short-circuit current value shall be multiplied by 2. ^b Coupling via gas arrestors, clamping or avalanche devices will show some switching noise on the impulse wave. Working with the highest possible impulse voltage will minimise their impact on measurements, however, it is recommended to neglect the switching noise for the peak values measurements. ^c The values shown in this table are for a CWG with ideal values. In case the CWG generates parameter values close to the tolerances, the additional tolerances of the CDN may generate values out of tolerances for the CWG-CDN combination. ^d The coupling device (CD) can be based upon capacitors, gas arrestors, clamping devices, avalanche devices or any method that allows the wanted data of the EUT to function correctly and at the same time meet the impulse waveform parameters of this table.							

7 Test setup

7.1 Test equipment

The following equipment is part of the test setup:

- equipment under test (EUT);
- auxiliary equipment (AE) when required;

- cables (of specified type and length);
- coupling/decoupling networks (CDNs);
- combination wave generator (CWG);
- reference ground plane for tests to shielded lines as described in 7.6.2 below and Figure 12.

NOTE If convenient, the test setup using a reference ground plane as defined in IEC 61000-4-4 can be used.

7.2 Verification of the test instrumentation

The purpose of verification is to ensure that the test setup is operating correctly. The test setup includes:

- the combination wave generator;
- the CDN;
- the interconnection cables of the test equipment.

To verify that the system is functioning correctly, the following signal should be checked:

- surge impulse present at the output terminal of the CDN.

It is sufficient to verify that the surge is present at any level by using suitable measuring equipment (e.g. oscilloscope) without an EUT connected to the system.

NOTE Test laboratories can define an internal control reference value assigned to this verification procedure.

7.3 Test setup for surges applied to EUT power ports

The 1,2/50 μ s surge shall be applied to the EUT power supply terminals via the capacitive coupling network (see Figures 5, 6, 7 and 8). Decoupling networks are required in order to avoid possible adverse effects on equipment not under test that may be powered by the same lines and to provide sufficient decoupling impedance to the surge wave so that the specified wave may be applied on the lines under test.

The selection of the CDN specification from Table 4 shall be made to match the current rating of the EUT (for example: an EUT rated at 5 A shall be tested using a CDN complying with the specifications of a 16 A rated CDN). Any higher current rated CDN can be used if it meets the specification requirements in Table 4 for the relevant lower current rating of the EUT (for example: a CDN rated 64 A can be used for testing an EUT rated at 5 A, if it meets the specification requirements of a 16 A rated CDN).

If not otherwise specified the power cord between the EUT and the coupling network shall not exceed 2 m in length.

For the purpose of generating the specifications within this standard, power ports have been considered to be those ports directly connected to either an a.c. mains supply or a d.c. mains supply (distribution network).

NOTE Product committees can decide that power ports not connected to distribution networks require testing according to this standard using a CDN defined in 6.3.2 or 6.3.3.

DC mains supply surge testing is applied between the lines (e.g. 0 V to -48 V) and between each line in turn and ground (e.g. 0 V to ground and -48 V to ground).

No line-to-ground surges are applied for double-insulated products (i.e. products without any dedicated earth terminal).

Product committees may decide if line-to-ground surge testing is applicable to double-insulated products with earthed connections other than PE.

7.4 Test setup for surges applied to unshielded unsymmetrical interconnection lines

The CDN shall not influence the specified functional conditions of the circuits to be tested.

An example of a coupling network is given in Figure 9.

If not otherwise specified, the interconnection line between the EUT and the coupling network shall not exceed 2 m in length.

No line-to-ground surges are applied for double-insulated products (i.e. products without any dedicated earth terminal).

7.5 Test setup for surges applied to unshielded symmetrical interconnection lines

Examples of coupling networks for symmetrical interconnection lines are given in Figure 10 and Figure 11.

NOTE If coupling arrestors are used, test levels below the ignition point of the coupling arrestor (the ignition point is about 300 V for a gas arrestor with a rated voltage of 90 V) cannot be specified.

If not otherwise specified the interconnection line between the EUT and the coupling network shall not exceed 2 m in length.

For surge testing to high speed interconnection lines, no surge test shall be applied when normal functioning cannot be achieved because of the impact of the CDN on the EUT.

7.6 Test setup for surges applied to shielded lines

The EUT is isolated from ground and the surge is applied to its metallic enclosure; the termination (or auxiliary equipment) at the port(s) under test is grounded. This test applies to equipment with one or more shielded cables (see Figure 12).

NOTE 1 The reference ground plane mentioned in Figure 12 represents a low impedance reference. A dedicated cable or a metal plate can be used.

All connections to the EUT other than the port(s) under test shall be isolated from ground by suitable means such as safety isolating transformers or a suitable decoupling network.

The length of the cable between the port(s) under test and the device attached to the other end of the cable (AE in Figure 12) shall be:

- 20 m (preferred length) or,
- the shortest length over 10 m, where the manufacturer provides pre-assembled cables used in actual installations.

No test shall be required for cables which according to the manufacturer's specification are ≤ 10 m.

The cable between the EUT and the AE shall be non-inductively bundled or wound as a bifilar coil and shall be placed on an insulated support.

Rules for application of the surge to shielded lines:

- a) Shields grounded at both ends:
 - the test shall be carried out according to Figure 12.

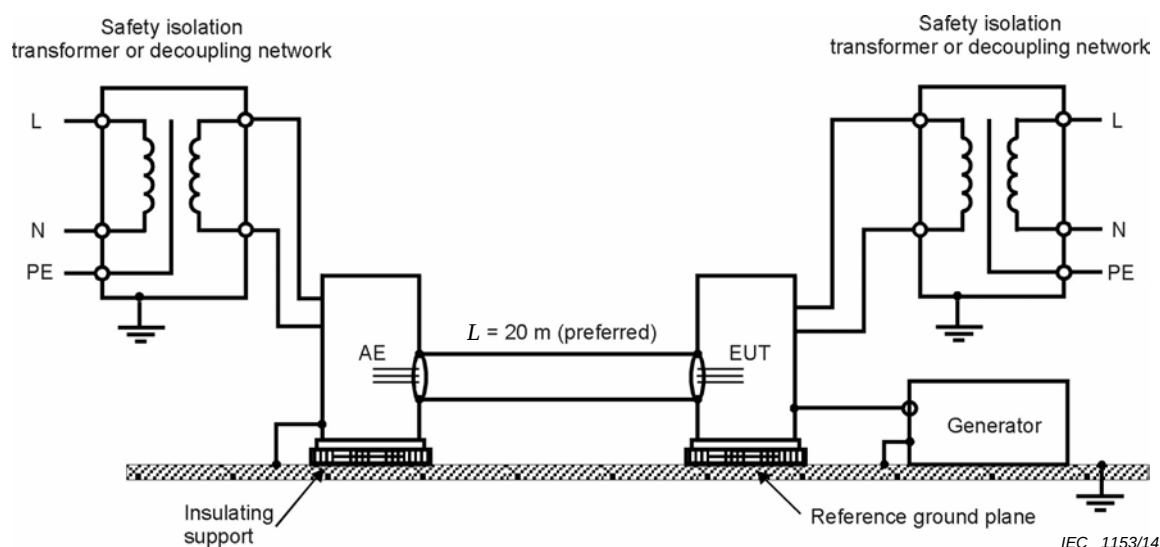
The test level is applied on shields with a $2\ \Omega$ generator source impedance and with the $18\ \mu\text{F}$ capacitor (see 6.2.3).

b) Shields grounded at one end:

- the test shall be carried out according to 7.4 or 7.5 (see Figure 4) because the shield does not provide any protection against surges induced by magnetic fields.

NOTE 2 In this case, surge testing is not applied to the shield.

For EUTs which do not have metallic enclosures, the surge is applied directly to the shielded cable at the EUT side.



It is permissible for the power to the EUT and/or the AE to be provided via a decoupling network, rather than via the isolating transformer shown. In this case, the EUT's protective earth connection should not be connected to the decoupling network.

DC supplied EUT and/or AE should be powered through the decoupling networks.

Where it is necessary to isolate the AE equipment from the surge, the ground connection on the AE side of the cable under test may be achieved by connecting directly to the connector shield rather than the AE chassis. Where further insulation is required and the cable may be extended without impacting the integrity of the shield (e.g. using a coaxial barrel connector or a shielded Ethernet cable coupler) the connection to ground may be made to the shield of the extension coupler. In this case the length of the cable is measured between the EUT and the coupler and not between the EUT and AE. The cable length between the coupler and AE is not critical.

Figure 12 – Example of test setup for surges applied to shielded lines

8 Test procedure

8.1 General

The test procedure includes:

- the verification of the test instrumentation according to 7.2;
- the establishment of the laboratory reference conditions;
- the confirmation of the correct operation of the EUT;
- the execution of the test;
- the evaluation of the test results (see Clause 9).

8.2 Laboratory reference conditions

8.2.1 Climatic conditions

Unless otherwise specified in generic, product family or product standards, the climatic conditions in the laboratory shall be within any limits specified for the operation of the EUT and the test equipment by their respective manufacturers.

Tests shall not be performed if the relative humidity is so high as to cause condensation on the EUT or the test equipment.

8.2.2 Electromagnetic conditions

The electromagnetic conditions of the laboratory shall be such as to guarantee the correct operation of the EUT so as not to influence the test results.

8.3 Execution of the test

Verification shall be performed. It is preferable to perform the verification prior to the test (see 7.2).

The test shall be performed according to a test plan which shall specify the test setup, including:

- test level;
- number of impulses (for each coupling path):
 - number of surge impulses unless otherwise specified by the relevant standard:
 - i) for d.c. power ports and interconnection lines five positive and five negative surge impulses;
 - ii) for a.c. power ports five positive and five negative impulses each at 0°, 90°, 180° and at 270°;
- time between successive impulses: 1 min or less;
- representative operating conditions of the EUT;
- EUT ports to be tested.

Power ports (a.c. or d.c.) can be input ports or output ports.

Surges to output ports are recommended in applications where surges are likely to enter the EUT via those output ports (e.g. switching of loads with large power consumption).

When testing 3-phase systems, the synchronization of phase angles shall be taken from the same line under test, e.g. when applying surge impulses between L2 and L3, the phase angle synchronization shall be the voltage between L2 and L3.

No synchronization is applied in case of absence of mains supply voltage between the coupled lines, e.g. between N and PE in TN-S power distribution systems. In this case, five positive impulses and five negative impulses shall be applied.

Surges to low voltage d.c. input/output ports (≤ 60 V) are not applied when secondary circuits (isolated from the a.c. mains) are not subject to transient overvoltages (i.e. reliably-grounded, capacitively-filtered d.c. secondary circuits where the peak-to-peak ripple is less than 10 % of the d.c. component.)

NOTE 1 In the case of several identical circuits, representative tests on a selected number of circuits can be sufficient.

If testing done at rates faster than one per minute cause failures and tests done at one per minute do not, the test done at one per minute prevails.

NOTE 2 Product committees can select different phase angles and either increase or reduce the number of surges per phase if appropriate for their products.

NOTE 3 Most protectors in common use have limited average power capabilities even though their peak power or peak energy handling capabilities can deal with high currents. Therefore, the time between two surges depends on the built-in protection devices of the EUT.

NOTE 4 Further information on the application of the tests is given in C.2.

When testing line-to-ground, the lines are tested individually in sequence, if there is no other specification.

The test procedure shall also consider the non-linear current-voltage characteristics of the equipment under test. Therefore all lower test levels (see Table 1) including the selected test level shall be tested.

9 Evaluation of test results

The test results shall be classified in terms of the loss of function or degradation of performance of the equipment under test, relative to a performance level defined by its manufacturer or the requestor of the test, or agreed between the manufacturer and the purchaser of the product. The recommended classification is as follows:

- a) normal performance within limits specified by the manufacturer, requestor or purchaser;
- b) temporary loss of function or degradation of performance which ceases after the disturbance ceases, and from which the equipment under test recovers its normal performance, without operator intervention;
- c) temporary loss of function or degradation of performance, the correction of which requires operator intervention;
- d) loss of function or degradation of performance which is not recoverable, owing to damage to hardware or software, or loss of data.

The manufacturer's specification may define effects on the EUT which may be considered insignificant, and therefore acceptable.

This classification may be used as a guide in formulating performance criteria, by committees responsible for generic, product and product family standards, or as a framework for the agreement on performance criteria between the manufacturer and the purchaser, for example where no suitable generic, product or product family standard exists.

Equipment shall not become dangerous or unsafe as a result of the application of the tests.

10 Test report

The test report shall contain all the information necessary to reproduce the test. In particular, the following shall be recorded:

- the items specified in the test plan required by Clause 8 of this standard;
- identification of the EUT and any associated equipment, for example brand name, product type, serial number;
- identification of the test equipment, for example brand name, product type, serial number;
- any special environmental conditions in which the test was performed, for example shielded enclosure;

- any specific conditions necessary to enable the test to be performed;
- drawing and/or pictures of the test setup and EUT arrangement;
- performance level defined by the manufacturer, requestor or purchaser;
- performance criterion specified in the generic, product or product family standard;
- any effects on the EUT observed during or after the application of the test disturbance, and the duration for which these effects persist;
- all types of cables which were tested, including their length, and the interface port of the EUT to which they were connected;
- the rationale for the pass/fail decision (based on the performance criterion specified in the generic, product or product family standard, or agreed between the manufacturer and the purchaser);
- any specific conditions of use, for example cable length or type, shielding or grounding, or EUT operating conditions, which are required to achieve compliance;
- test configuration (hardware) including the coupling method used;
- test configuration (software).

Annex A

(normative)

Surge testing for unshielded outdoor symmetrical communication lines intended to interconnect to widely dispersed systems

A.1 General

When testing symmetrical communication lines that are intended to be directly connected to outdoor telecommunication networks (e.g. public switched telecommunications networks (PSTN)) the 1,2/50 μs – 8/20 μs waveform may not be appropriate. Outdoor telecommunications networks typically have cable lengths in excess of 300 m and may be many kilometres in length. As a result of the nature of these networks the 10/700 μs – 5/320 μs waveform is more representative of actual surges encountered in the field. Annex A defines the testing methods and generator characteristics for testing using the 10/700 μs – 5/320 μs generator.

Long distance outdoor networks typically use some form of primary protection where the cables enter buildings or enclosures. To ensure correct operation of the port under test the performance of this primary protection needs to be considered. Testing should be performed with the intended primary protection so that co-ordination between the primary and any secondary protection inside the EUT can be verified. Where the exact characteristics of the primary protection cannot be controlled, product committees may define different test levels to be evaluated with and without primary protection fitted. Further detail on this phenomenon can be found in ITU-T K.44.

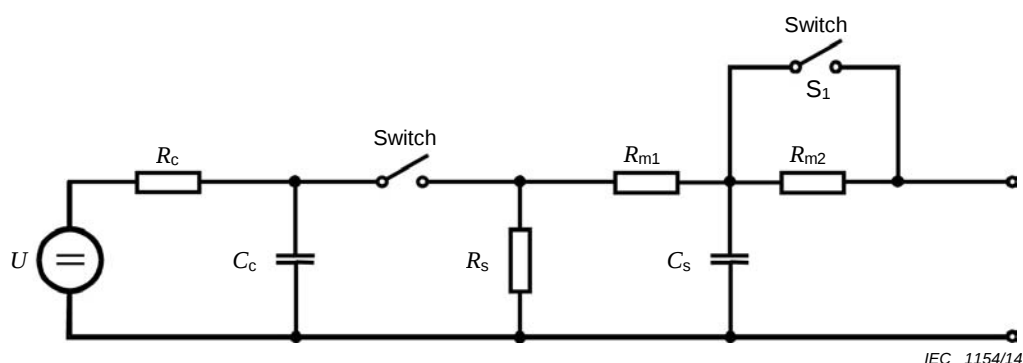
A.2 10/700 μs combination wave generator

A.2.1 Characteristics of the generator

This generator is intended to generate a surge with the following characteristics:

- an open-circuit voltage front time of 10 μs ;
- an open-circuit voltage duration of 700 μs ;
- a short-circuit current front time of 5 μs ;
- a short-circuit current duration of 320 μs .

The simplified circuit diagram of the generator is given in Figure A.1. The values for the different components are selected so that the generator delivers the above surge.



Key

U	High-voltage source
R_c	Charging resistor
C_c	Energy storage capacitor
R_s	Pulse duration shaping resistor
R_m	Impedance matching resistors
C_s	Front time shaping capacitor
S_1	Switch closed when using external matching resistors

**Figure A.1 – Simplified circuit diagram of the combination wave generator
(10/700 μ s – 5/320 μ s)**

The ratio of peak open-circuit output voltage to peak short-circuit current of the combination wave generator shall be considered as the effective output impedance. For this generator, the ratio defines an effective output impedance of 40 Ω .

A.2.2 Performances of the generator

Polarity	positive and negative
Repetition rate	1 per minute or faster
Open-circuit peak output voltage	adjustable from 0,5 kV to the required test level
Waveform of the surge voltage	see Table A.1 and Figure A.2
Output voltage tolerance	see Table A.2
Short-circuit peak output current	depends on peak voltage setting (see Tables A.1 and A.2)
Short-circuit output current tolerance	see Table A.2

NOTE The effective output impedance typically consists of internal 15 Ω (R_{m1}) and 25 Ω (R_{m2}) resistors. The R_{m2} resistors can be bypassed, paralleled or shorted and replaced with external coupling resistors when used for multiple couplings, see Figure A.1.

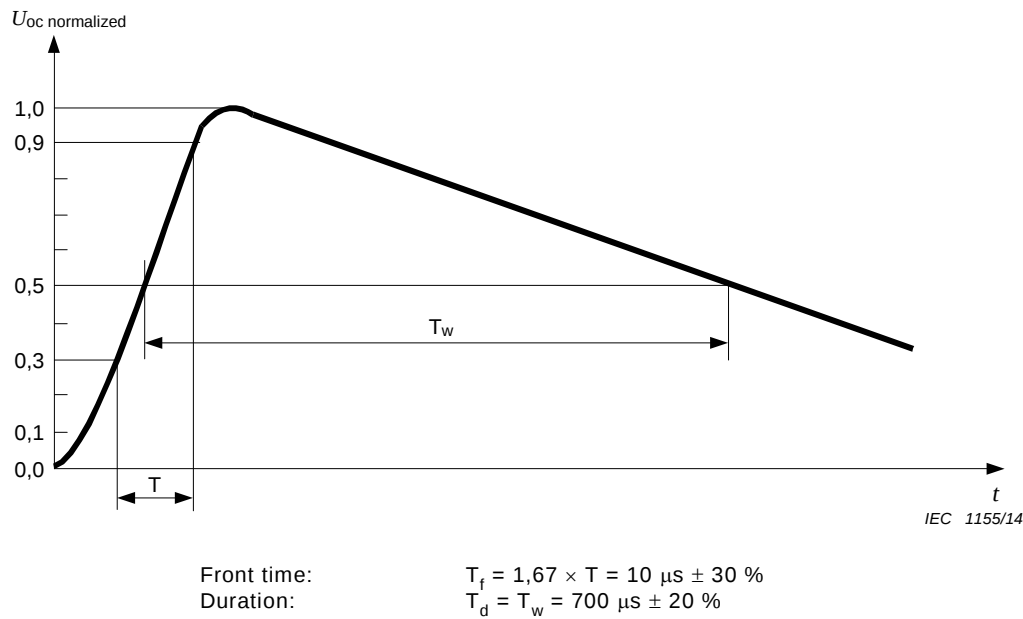


Figure A.2 – Waveform of open-circuit voltage (10/700 μs)

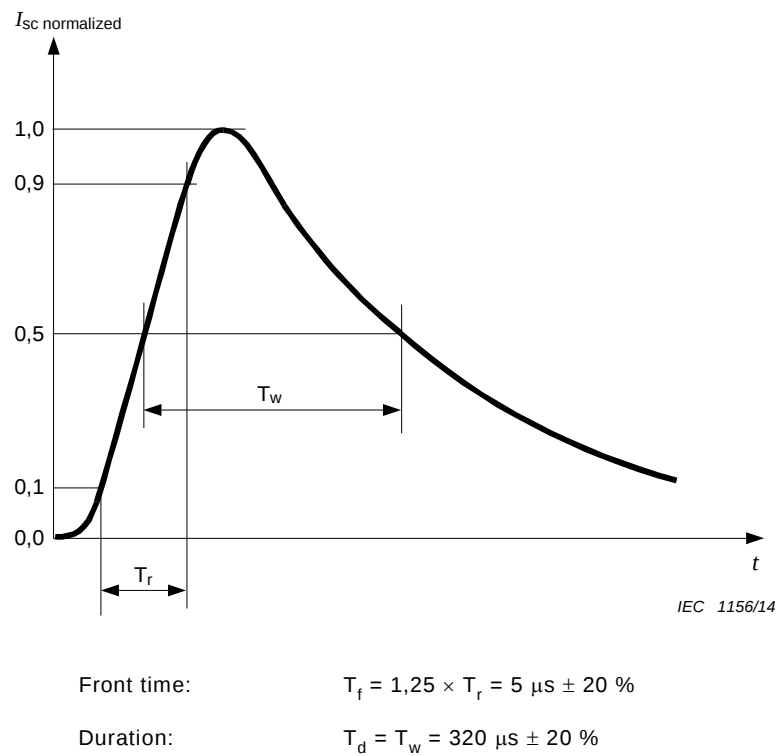


Figure A.3 – Waveform of the 5/320 μs short-circuit current waveform

Table A.1 – Definitions of the waveform parameters 10/700 μs and 5/320 μs

	Front time μs	Duration μs
Open-circuit voltage	10 ± 30 %	700 ± 20 %
Short-circuit current	5 ± 20 %	320 ± 20 %

Table A.2 – Relationship between peak open-circuit voltage and peak short-circuit current

Open-circuit peak voltage $\pm 10\%$ at generator output	Short-circuit peak current $\pm 10\%$ at generator output
0,5 kV	12,5 A
1,0 kV	25 A
2,0 kV	50 A
4,0 kV	100 A

NOTE The short-circuit peak current is measured with switch S_1 of Figure A.1 open.

The peak open-circuit voltage and the peak short-circuit current shall be measured with the same generator settings.

A.2.3 Calibration of the generator

In order to compare the test results from different generators, the generator shall be calibrated periodically. For this purpose, the following procedure is necessary to measure the essential characteristics of the generator.

The generator output shall be connected to a measuring system with a sufficient bandwidth, voltage and current capability to monitor the characteristics of the waveforms. Annex E provides information concerning the bandwidth of the surge waveforms.

If a current transformer (probe) is used to measure short-circuit current it should be selected so that saturation of the magnetic core does not take place. The lower (-3 dB) corner frequency of the probe should be less than 10 Hz.

The characteristics of the generator shall be measured under open-circuit conditions (load greater than or equal to 10 k Ω) and under short-circuit conditions (load smaller than or equal to 0,1 Ω) at the same set voltage.

All performance characteristics stated in A.2.2 shall be met at the output of the generator.

A.3 Coupling/decoupling networks

A.3.1 General

Due to the nature of the wiring used for unshielded outdoor symmetrical communication lines (twisted pairs), the coupling is always in common mode. The coupling decoupling schematic is shown in Figure A.4.

Coupling via arrestors is the preferred coupling method for unshielded outdoor symmetrical communication lines as shown in Figure A.4. The coupling network also has the task of splitting the surge current into multiple pairs in multi-conductor cables. The internal matching resistor R_{m2} (25 Ω) is replaced by external $R_c = 25 \Omega$.

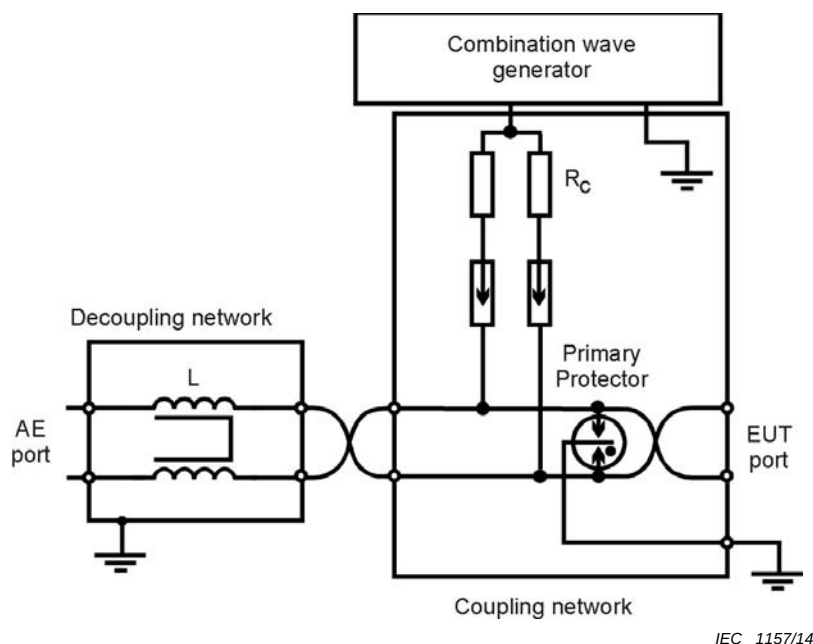
Recommended characteristics of the coupling/decoupling network:

Coupling impedance $R_c = 25 \Omega$ per line plus the impedance of the arrestor;

Decoupling inductors $L = 20$ mH.

The suggested coupling and decoupling network design and component values may not be suitable for high speed networks (e.g. DSL) as the wanted data transmission may be degraded.

A.3.2 Coupling/decoupling networks for outdoor communication lines



The internal matching resistor R_{m2} (25 Ω) is replaced by external $R_C = 25 \Omega$.

NOTE 1 The gas arrestors shown can be replaced by a clamping circuit such as that shown in Figure 9.

NOTE 2 Where the port is always intended to be used with specified primary protection, testing is performed with the primary protection in place to ensure coordination with the protection elements.

Figure A.4 – Example of test setup for unshielded outdoor symmetrical communication lines: lines-to-ground coupling, coupling via gas arrestors (primary protection fitted)

A.4 Calibration of coupling/decoupling networks

Measurements shall be performed with the impulse applied to one coupling pair at a time.

The peak amplitude, the front time and impulse duration shall be measured for the CDN at the impulse voltage under open-circuit conditions and the current under short-circuit conditions. Values are given in Table A.4.

The inputs of the DN at the AE side shall be short-circuited to PE for the impulse voltage and impulse current measurement at the EUT output port.

The residual voltage value depends on the protection requirements of the AE. Therefore no limits are given in this standard.

The calibration process is listed in Table A.3.

Table A.3 – Summary of calibration process for CDNs for unshielded outdoor symmetrical communication lines

	Coupling	Measuring	AE side	EUT side
Surge voltage at EUT side	Common mode – one pair to PE	Both lines from one pair shorted together: peak voltage, front time, duration	All used lines shorted to PE	Open-circuit, both lines from one pair connected together
Surge current at EUT side	Common mode – one pair to PE	Both lines from one pair shorted together: peak current, front time, duration	All used lines shorted to PE	Both lines from one pair shorted to PE
Residual voltage on AE side (with protection elements)	Common mode – one pair to PE	Both lines from one pair shorted together: peak voltage	Open-circuit	Open-circuit

The intention of this calibration process is to check the proper function of the components, the saturation of decoupling chokes, the decoupling effect of the DN part, the current capability and the coupling effect of the CN part. The coupling method described in the above paragraphs has an influence on the voltage and current wave forms. The parameters for the calibration are defined in Table A.4.

Table A.4 – Surge waveform specifications at the EUT port of the CDN for unshielded outdoor symmetrical communication lines

Coupling method	CWG output voltage _{a,b,c}	V_{oc} at CDN EUT output ± 10 %	Voltage front time T_f ± 30 %	Voltage duration T_d ± 30 %	I_{sc} at CDN EUT output ± 20 %	Current front time T_f ± 30 %	Current duration T_d ± 30 %
Common mode CD 1 pair 27,5 Ω	4 kV	4 kV	8 μs	250 μs	145 A	3,2 μs	250 μs
^a For CDN with more than one pair, each pair has to be calibrated separately, as described in Table A.3. ^b Coupling via gas arrestors, clamping or avalanche devices will show some switching noise on the impulse waveform. Working with the highest possible impulse voltage will minimize their impact on measurements; it is recommended to neglect the switching noise for the front times and duration values measurements. ^c The values shown in this table are for a CWG with ideal values. In case the CWG generates parameter values close to the tolerances, the additional tolerances of the CDN may generate values out of tolerances for the CWG-CDN combination.							

A.5 Test setup for surges applied to outdoor unshielded symmetrical communication lines

For symmetrical interconnection/communication circuits (see Figure A.4), the capacitive coupling method cannot normally be used. In this case, the coupling is performed via gas arrestors. Test levels below the ignition point of the coupling arrestor (the ignition point is about 300 V for a gas arrestor with a rated voltage of 90 V) cannot be specified.

Two test configurations are to be considered:

- To evaluate equipment level immunity a test shall be performed with only secondary protection at the EUT at a low test level, for example 0,5 kV or 1 kV.
- To evaluate system level immunity a test shall be performed with additional primary protection at a higher test level, for example 2 kV or 4 kV.

If not otherwise specified the interconnection line between the EUT and the coupling/decoupling network shall not exceed 2 m in length.

The coupling is always in common mode, all conductors simultaneously with respect to reference ground (see Figure A.4).

NOTE Untested conductors are connected to earth via a coupling device that does not impact the wanted data traffic of the port under test (e.g. GDT).

Annex B (informative)

Selection of generators and test levels

B.1 General

The selection of the test levels should be based on the installation conditions and may be specified in product or product family standards. Where there are no defined levels, Tables B.1 and B.2 should be used, together with information given in C.3. These values are included for illustration only and do not form a recommendation or requirement. The values have been chosen only for explanatory purposes and are not put forward as some recommended practice.

B.2 The classification of environments

Class 0: Well-protected electrical environment, often within a special room

Class 1: Partly protected electrical environment

Class 2: Electrical environment where the cables are well-separated, even at short runs

Class 3: Electrical environment where cables run in parallel

Class 4: Electrical environment where the interconnections run as outdoor cables along with power cables, and cables are used for both electronic and electric circuits

Class 5: Electrical environment for electronic equipment connected to communication cables and overhead power lines in a non-densely populated area

Class x: Special conditions specified in the product specification

To demonstrate the system level immunity, additional measures relevant to the actual installation conditions, for example primary protection, should be taken. Additional information is given in Annex C.

B.3 The definition of port types

Intra-system port:

- The port is connected to ports within the same system.

Internal port:

- Only connected to cables within the same building.
- The port is not intended to provide a service that can be directly connected to an outdoor connection.
- The port will not have a conductive connection to a cable which leaves the building via other equipment (e.g., via a splitter).

External port:

- The port is intended to connect directly to lines which exit a building.
- The port has a conductive connection to a cable which leaves the building via other equipment (e.g., via a splitter).

B.4 Generators and surge types

The surges (and generators) related to the different classes are as follows:

Classes 1 to 5: 1,2/50 μ s (8/20 μ s) for ports of power lines, short-distance signal circuits/lines and local area networks (e.g. Ethernet, token ring, etc.) and similar networks.

Classes 4 to 5: 10/700 μ s (5/320 μ s) for symmetrical communication lines intended to interconnect widely dispersed systems via such means as direct connection to multi-user telecommunications networks (e.g. public switched telecommunications networks (PSTN), x-type digital subscriber lines (xDSL), etc.); lines typically greater than 300 m in length.

The source impedance shall be as indicated in the figures of the test setups concerned.

B.5 Tables

Table B.1 – Power ports: selection of the test levels (depending on the installation class)

Installation class	Test levels (kV)							
	AC power supply and a.c. I/O External ports ^a		AC power supply and a.c. I/O Internal ports ^{a,d}		DC power supply and d.c. I/O External ports ^a		DC power supply and d.c. I/O Internal ports ^{a,d}	
	Coupling mode		Coupling mode		Coupling mode		Coupling mode	
	Line-to-line	Line-to-ground	Line-to-line	Line-to-ground	Line-to-line	Line-to-ground	Line-to-line	Line-to-ground
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	NA	0,5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	0,5	1,0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	1,0	2,0	1,0	2,0	NA	NA	NA	NA
4	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b
5	c,b	c,b	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b
^a No test is advised if the cable length is shorter than or equal to 10 m. ^b Where the port is always intended to be used with specified primary protection, testing is performed with the primary protection in place to ensure coordination with the protection elements. If primary protection is required to protect the interface but not provided, testing is also performed at the maximum let through level of the specified primary protection and with a typical primary protector. ^c Depends on the class of the local power supply system. ^d The testing of intra-system ports is generally not required.								

**Table B.2 – Circuits/lines: selection of the test levels
(depending on the installation class)**

Installation class	Test levels (kV)											
	Unsymmetrical operated circuits/lines ^{a,c,e}				Symmetrical operated circuits/lines ^{a,c,e}				Shielded circuits/lines ^{a,d,e}			
	External port		Internal port		External port		Internal port		External port		Internal port	
	Line-to-line	Line-to-ground	Line-to-line	Line-to-ground	Line-to-line	Line-to-ground	Line-to-line	Line-to-ground	Line-to-line	Shield-to-ground	Line-to-line	Shield-to-ground
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	NA	NA	NA	0,5	NA	NA	NA	0,5	NA	NA	NA	NA
2	NA	NA	0,5	1,0	NA	NA	NA	1,0	NA	NA	NA	0,5
3	NA	NA	1,0	2,0	NA	NA	NA	2,0	NA	NA	NA	2,0
4	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b	NA	4,0 ^b	NA	4,0 ^b	NA	4,0 ^b	NA	4,0 ^b
5	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b	NA	4,0 ^b	NA	4,0 ^b	NA	4,0 ^b	NA	4,0 ^b
^a No test is advised for data connections intended for cables shorter than 10 m. ^b Where the port is always intended to be used with specified primary protection, testing is performed with the primary protection in place to ensure coordination with the protection elements. If primary protection is required to protect the interface but not provided, testing is also performed at the maximum let through level of the specified Primary protection and with a typical primary protector. ^c Line-to-line surges (transverse) may occur in networks where SPDs (surge protective devices) with connection to ground are used for protection. Such surges are outside the scope of this standard. This phenomenon can however be simulated by applying common mode surges through the defined primary protection elements. ^d The testing of ports connecting to antennas is outside the scope of this standard. ^e The testing of intra-system ports is generally not required.												

Annex C (informative)

Explanatory notes

C.1 Different source impedance

The selection of the source impedance of the generator depends on:

- the kind of cable/conductor/line (a.c. power supply, d.c. power supply, interconnection, etc.);
- the length of the cables/lines;
- indoor/outdoor conditions;
- application of the test voltage (line-to-line or lines-to-ground).

The impedance of $2\ \Omega$ represents the source impedance of the low-voltage power supply network. The generator with its effective output impedance of $2\ \Omega$ is used.

The impedance of $12\ \Omega$ ($10\ \Omega + 2\ \Omega$) represents the source impedance of the low-voltage power supply network and ground. The generator with an additional resistor of $10\ \Omega$ in series is used.

The effective impedance of $42\ \Omega$ ($40\ \Omega + 2\ \Omega$) represents the source impedance between all other lines and ground. The generator with an additional resistor of $40\ \Omega$ in series is used.

NOTE D.C. ports that are intended to be connected to an a.c./d.c. power converter (e.g. laptop power supply d.c. connection) are not regarded as low voltage power supply ports. If d.c. power is fed on conductors included in a signal cable then these connections are not regarded as low voltage power supply ports.

In some countries, (for instance, USA) other non-IEC standards for a.c. lines may require the tests according to Figures 5 and 7 with a $2\ \Omega$ impedance; these are more severe tests.

C.2 Application of the tests

C.2.1 Equipment level immunity

The test shall be carried out in the laboratory on a single EUT. The immunity of the EUT thus tested is referred to equipment level immunity.

The test voltage shall not exceed the specified capability of the EUT's insulation to withstand high-voltage stress.

C.2.2 System level immunity

Preferential ranges of test levels are given in Tables B.1 and B.2.

The test carried out in the laboratory refers to an EUT, but immunity at the EUT does not necessarily assure the immunity of a larger system which contains that EUT. In order to ensure system level immunity, a test at the system level is recommended to simulate the real installation. This simulated installation shall be comprised of individual EUTs and shall also include protective devices (surge protective devices (SPDs)) if they are requested by the system application manual or stipulated by the system/network operator. The real length and type of interconnection lines will be used, all of which can affect the overall system protection level.

The simple addition of an external SPD that is not co-ordinated with other internal SPDs might have no effect, might reduce the effect on the overall system protection, or might improve overall system protection.

Additional information can be found in the surge protective devices standards series IEC 61643 and IEC 62305-1.

This test is aimed at simulating as closely as possible the installation conditions in which the EUT or EUTs are intended to function.

In a real installation, higher voltage levels can be applied, but the surge energy will be limited by the installed protective devices in accordance with their current-limiting characteristics.

The system level test is also intended to show that secondary effects produced by the protective devices (change of waveform, mode, amplitude of voltages or currents) do not cause unacceptable effects on the EUT. To check that no damage windows within the EUT at a specific test voltage exist, it is necessary to perform the tests with progressively raised test voltages up to the required value. This specific test voltage is determined by the operating points of the protection components or protective devices within the EUT (see IEC 61643-21:2000 and Amendment 2: 2012, 6.2.1.8).

C.3 Installation classification

- | | |
|---------|---|
| Class 0 | <p>Well-protected electrical environment, often within a special room</p> <p>All incoming cables are provided with overvoltage (primary and secondary) protection. The units of the electronic equipment are interconnected by a well-designed grounding system, which is not significantly influenced by the power installation or lightning.</p> <p>The electronic equipment has a dedicated power supply (see Table B.1).
Surge voltage may not exceed 25 V.</p> |
| Class 1 | <p>Partly protected electrical environment</p> <p>All incoming cables to the room are provided with overvoltage (primary) protection.</p> <p>The units of the equipment are well-interconnected by a ground connection network, which is not significantly influenced by the power installation or lightning.</p> <p>The electronic equipment has its power supply completely separated from the other equipment.</p> <p>Switching operations can generate interference voltages within the room.
Surge voltage may not exceed 500 V.</p> <p>The requirements of this class are covered by test level 1 as defined in Table 1.</p> |
| Class 2 | <p>Electrical environment where the cables are well-separated, even at short runs</p> <p>The installation is grounded via a separate connection to the grounding system of the power installation which can be subjected to interference voltages generated by the installation itself or by lightning. The power supply to the electronic equipment is separated from other circuits, usually by a dedicated transformer for the mains power supply.</p> <p>Non-protected circuits are present in the installation, but well-separated and in restricted numbers.
Surge voltages may not exceed 1 kV.</p> <p>The requirements of this class are covered by test level 2 as defined in Table 1.</p> |
| Class 3 | <p>Electrical environment where power and signal cables run in parallel</p> <p>The installation is grounded to the common grounding system of the power installation which can be subjected to interference voltages generated by the installation itself or by lightning.</p> |

Current due to ground faults, switching operations and lightning in the power installation may generate interference voltages with relatively high amplitudes in the grounding system. Protected electronic equipment and less sensitive electric equipment are connected to the same power supply network. The interconnection cables can be partly outdoor cables, but close to the grounding network.

Unsuppressed inductive loads are present in the installation and usually there is no separation of the different field cables.

Surge may not exceed 2 kV.

The requirements of this class are covered by test level 3 as defined in Table 1.

Class 4 Electrical environment where the interconnections are running as outdoor cables along with power cables, and cables are used for both electronic and electric circuits

The installation is connected to the grounding system of the power installation which can be subjected to interference voltages generated by the installation itself or by lightning.

Currents in the kA range due to ground faults, switching operations and lightning in the power supply installation may generate interference voltages with relatively high amplitudes in the grounding system. The power supply network can be the same for both the electronic and the other electrical equipment. The interconnection cables are run as outdoor cables, even to the high-voltage equipment.

A special case of this environment is when the electronic equipment is connected to the telecommunication network within a densely populated area. There is no systematically constructed grounding network outside the electronic equipment, and the grounding system consists only of pipes, cables, etc.

Surge voltage may not exceed 4 kV.

The requirements of this class are covered by test level 4 as defined in Table 1.

Class 5 Electrical environment for electronic equipment connected to telecommunication cables and overhead power lines in a non-densely populated area

All these cables and lines are provided with overvoltage (primary) protection. Outside the electronic equipment there is no widespread grounding system (exposed plant). The interference voltages due to ground faults (currents up to 10 kA) and lightning (currents up to 100 kA) can be extremely high.

Class x Special conditions specified in the product specifications

C.4 Minimum immunity level of ports connected to the a.c./d.c. mains supply

The minimum immunity level for connection to the supply network is:

- line-to-line coupling: 0,5 kV;
- line-to-ground coupling: 1 kV.

C.5 Equipment level immunity of ports connected to interconnection lines

Surge tests on interconnection circuits are only required for external connections (outside of the cabinet/housing).

If it is possible to test at the system level (EUT with interconnection cables connected), it is not necessary to test at the equipment level, especially in cases where the shield of the interconnection cable is part of the protection measure. If the installation of the plant is carried out by someone other than the manufacturers of the equipment, the admissible voltage for the inputs/outputs (especially for the process interface) of the EUT should be specified.

The manufacturer should test his equipment on the basis of the specified test levels to confirm the equipment level immunity, for example with secondary protection at the ports of the EUT for a level of 0,5 kV. The users of the plant or those responsible for the installation should then apply measures (e.g. shielding, bonding, grounding protection) necessary to ensure that the interference voltage caused by, for example, lightning strokes does not exceed the chosen immunity level.

Annex D (informative)

Considerations for achieving immunity for equipment connected to low voltage power distribution systems

This standard describes the tests to determine the immunity from voltage and current surges for electronic equipment and systems. The equipment or system to be tested is regarded as a black box and the results of the tests are judged by the following criteria:

- a) normal performance;
- b) temporary loss of function or temporary degradation of performance not requiring an operator;
- c) temporary loss of function or temporary degradation of performance requiring an operator;
- d) loss of function with permanent damage to equipment (which means failing the test).

Whereas the tests of this standard investigate the full range of possible effects of comparatively low current surges on electronic equipment and systems, including permanent damage and destruction of equipment and systems, there are other related test standards which are not so much concerned with temporary loss of function, but more with actual damage or destruction of equipment and systems.

IEC 60664-1 is concerned with insulation coordination for equipment within low voltage systems and IEC 61643-11 is a test standard for surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems. In addition, both of these standards are concerned with the effect of temporary overvoltage on equipment. The IEC 61000 series does not consider the effect of temporary overvoltages on equipment or systems.

Permanent damage is hardly ever acceptable, since it results in system downtime and expense of repair or replacement. This type of failure is usually due to inadequate or no surge protection, which allows high voltages and excessive surge currents into the circuitry of the equipment, causing disruption of operation, component failures, permanent insulation breakdown and hazards of fire, smoke or electrical shock. It is also undesirable, however, to experience any loss of function or degradation of equipment or system, particularly if the equipment or system is critical and shall remain operational during surge activity.

For the tests described in this standard, the magnitude of the applied voltage test level (installation class) and the resultant surge current have a direct effect on the response of the equipment. Simply stated, the higher the voltage level of a surge, the higher the likelihood of loss of function or degradation, unless the equipment has been designed to provide an appropriate surge immunity.

To test surge protective devices (SPDs) used on low voltage power systems, IEC 61643-11, test class III, specifies a combination wave generator with an effective output impedance of $2\ \Omega$, which produces an 8/20 μs short-circuit current waveshape and a 1,2/50 μs open-circuit voltage waveshape. This standard uses the same combination wave generator for the surge immunity test for powered equipment and systems but with different coupling elements and also sometimes an additional series impedance. The meaning of the voltage test level (installation class) of this standard and the peak open-circuit voltage U_{oc} of IEC 61643-11 are equivalent. This voltage determines the peak short-circuit current value at the generator terminals. Due to differences in the test methods test results may not be directly comparable.

Surge immunity of equipment or systems may be achieved by built-in surge protective components or devices (SPDs), or external SPDs. One of the most important selection criteria for SPDs is the voltage protection level, U_p , defined and described in IEC 61643-11. This parameter should be coordinated with the withstand voltage of the equipment U_w according to

IEC 60664-1 and is the maximum voltage to be expected across the terminals of the SPD during the tests in specific conditions. U_p is only used in IEC 61643-12 for coordination with the withstand voltage of the equipment U_w . The value of the voltage protection level at a comparable stress should also be below the voltage immunity level at this comparable stress of the equipment tested to this standard but this is not addressed at the present time, especially because waveshapes are not always comparable between the two standards.

In general, surge immunity levels of equipment according to this standard are lower than insulation withstand levels according to IEC 60664-1, however care should be taken regarding the effects of temporary overvoltages according to IEC 60364-4-44 on an SPD (or built-in surge protective component) having an excessively low protection level. It is quite possible to choose an SPD that will protect equipment from failure, remain operational during surge activity and withstand most temporary overvoltage conditions.

Annex E (informative)

Mathematical modelling of surge waveforms

E.1 General

Annex E provides reference mathematical waveforms for:

- designing surge generators,
- simulations of surge performance on digital apparatus.

The formulae have been defined considering the following requirements:

- 1) To reproduce the nominal front time and duration as defined in the standard dedicated to surge generators with output in open and short-circuit condition.
- 2) To help the designers of digital apparatus to build up a circuit model of the source generators by using the simplified circuits reported in the dedicated standard with the nominal values of the circuit elements, if any.
- 3) To have derivative equal to zero at starting time in order to avoid instability when numerical simulations are performed.
- 4) To have the same basic formula used in IEC for transient phenomena such as ESD, EFT/B and surge.

NOTE For voltage surge (1,2/50 μ s) and current surge (8/20 μ s), the defined mathematical waveforms match well with those defined in IEEE Std C62.45-2002. Comparison for voltage surge (10/700 μ s) cannot be done because IEEE Std C62.45-2002 provides values for voltage surge (10/1000 μ s). For current surge (5/320 μ s) the values are not available.

The following parameter definitions are used:

- 1) T_w is the width time defined as the time between the 50 % of rising and falling front of the waveform.
- 2) T is the rise time for voltage surge defined as the time between the 30 % and 90 % of the early time response of the waveform.
- 3) T_r is the rise time for current surge defined as the time between the 10 % and 90 % of the early time response of the waveform.
- 4) T_d is the duration time between the minimum value of the early time response and the 50% of the falling time.
- 5) T_f is the front time defined as the time between the intersection of a line, having a slope that approximates the early time response, with the horizontal line that passes through the minimum and maximum value of the waveform respectively. The following values are defined that match well with the waveforms provided by the simplified circuits using model simulations:
 - voltage surge (1,2/50 μ s): $T_f = 1,67 \times T$; $T_d = T_w$
 - current surge (8/20 μ s): $T_f = 1,25 \times T_r$; $T_d = 1,18 \times T_w$
 - voltage surge (10/700 μ s): $T_f = 1,67 \times T$; $T_d = T_w$
 - current surge (5/320 μ s): $T_f = 1,25 \times T_r$; $T_d = T_w$
- 6) BW is the bandwidth of the surge waveforms defined at the frequency where the spectral response begins to roll off with a slope of –60 dB/decade.

E.2 Normalized time domain voltage surge (1,2/50 µs)

The normalized time domain expression of the 1,2/50 µs voltage surge is given by

$$v_{\text{SURGE}}(t) = k_V \cdot \left[\frac{v_1}{k_{\text{SURGE}}} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}} \cdot e^{\frac{-t}{\tau_2}} \right] \quad (\text{E.1})$$

The coefficients that appear in Equation (E.1) have the following values

$$k_V = 1 \quad \tau_1 = 0,356 \text{ µs} \quad \tau_2 = 65,845 \text{ µs} \quad v_1 = 0,94 \quad \eta_{\text{SURGE}} = 1,852$$

$$k_{\text{SURGE}} = e^{\frac{-\tau_1}{\tau_2} \left(\frac{\eta_{\text{SURGE}} \cdot \tau_2}{\tau_1} \right)^{\frac{1}{\eta_{\text{SURGE}}}}}$$

The plot of the 1,2/50 µs voltage surge as a function of time is shown in Figure E.1.

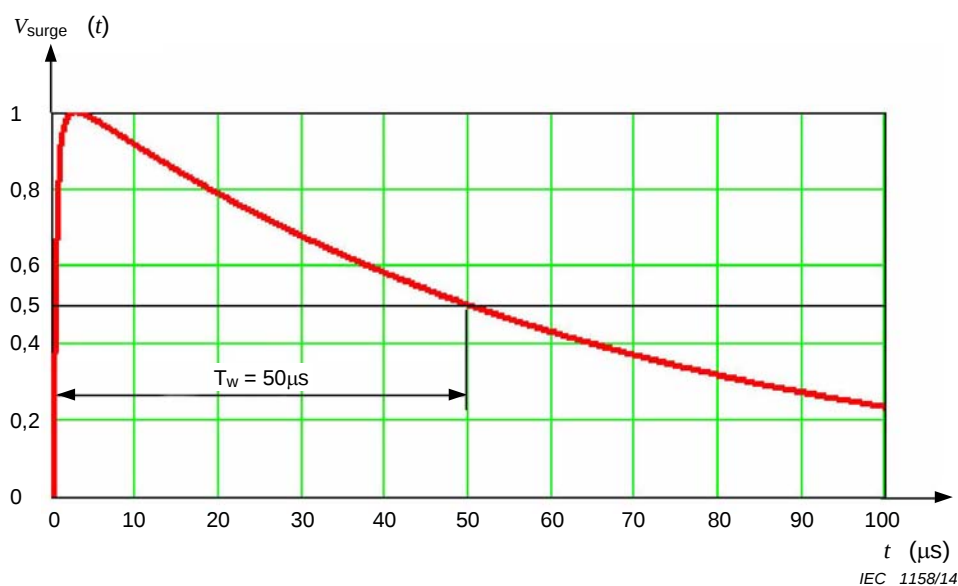


Figure E.1 – Voltage surge (1,2/50 µs): width time response T_w

An expansion to highlight the early time response is plotted in Figure E.2.

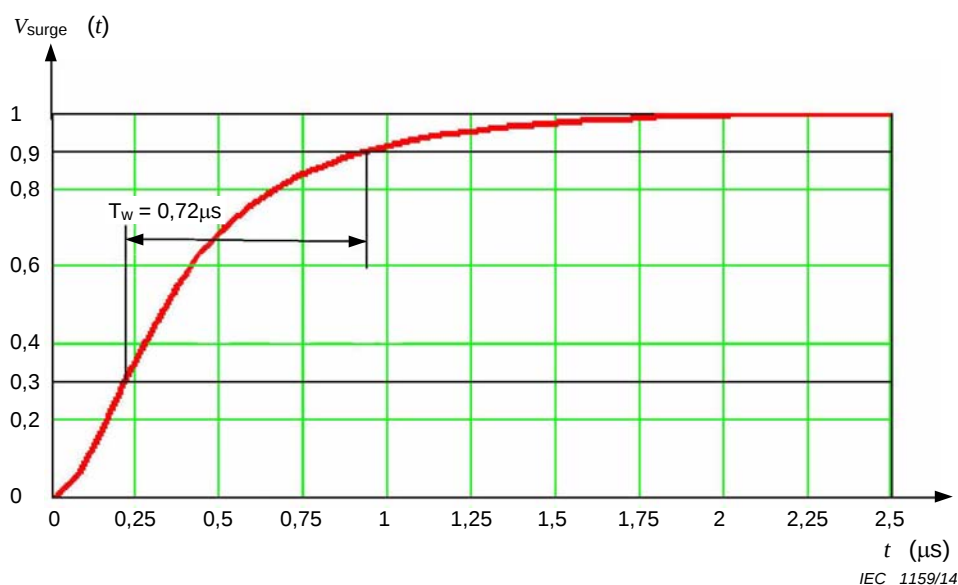


Figure E.2 – Voltage surge (1,2/50 μ s): rise time response T

The magnitude of the spectral response corresponding to Equation (E.1) is shown in Figure E.3.

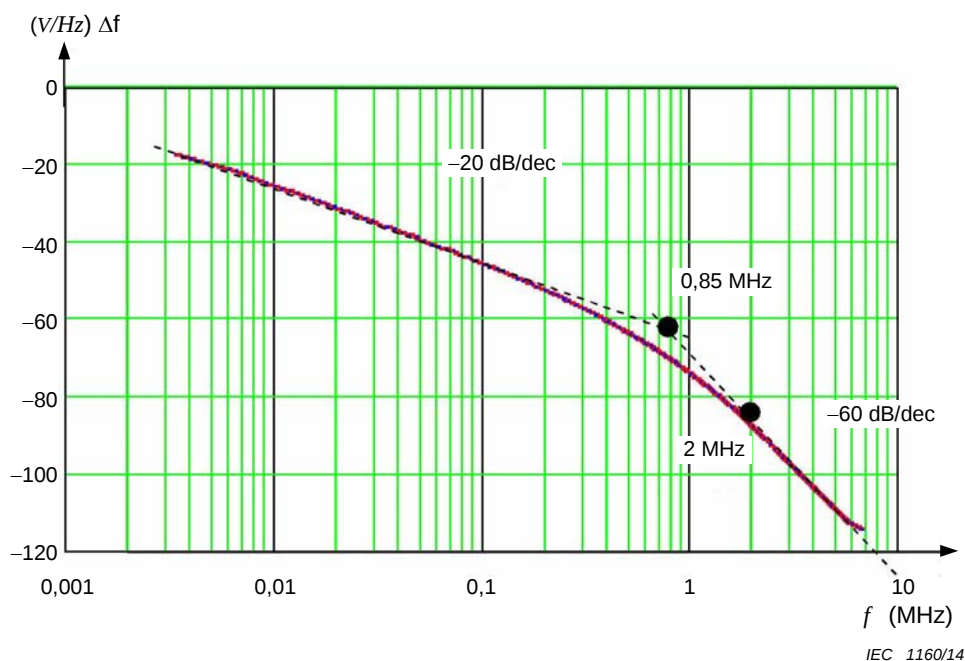


Figure E.3 – Voltage surge (1,2/50 μ s): spectral response with $\Delta f = 3,333$ kHz

The voltage impulse in the time domain is simulated well for frequencies up to 2 MHz, therefore the associated bandwidth $BW = 2$ MHz.

E.3 Normalized time domain current surge (8/20 μ s)

The normalized time domain expression of the 8/20 μ s current surge is given by

$$I_{\text{SURGE}}(t) = k_i \cdot \left[\frac{i_1}{k_{\text{SURGE}}} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}} \cdot e^{\frac{-t}{\tau_2}} \right] \quad (\text{E.2})$$

The coefficients that appear in Equation (E.2) have the following values

$$k_i = 1 \quad \tau_1 = 47,52 \mu\text{s} \quad \tau_2 = 4,296 \mu\text{s} \quad i_1 = 0,939 \quad \eta_{\text{SURGE}} = 2,741$$

$$k_{\text{SURGE}} = e^{\frac{-\tau_1}{\tau_2} \left(\frac{\eta_{\text{SURGE}} \cdot \tau_2}{\tau_1} \right)^{\frac{1}{\eta_{\text{SURGE}}}}}$$

The plot of the 8/20 μs current surge as a function of time is shown in Figure E.4.

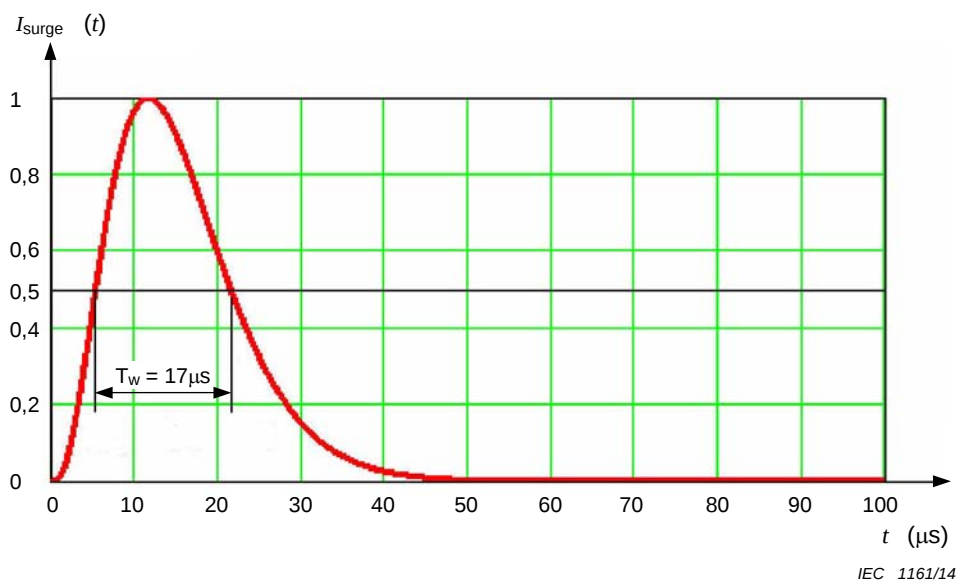


Figure E.4 – Current surge (8/20 μs): width time response T_w

An expansion to highlight the early time response is plotted in Figure E.5.

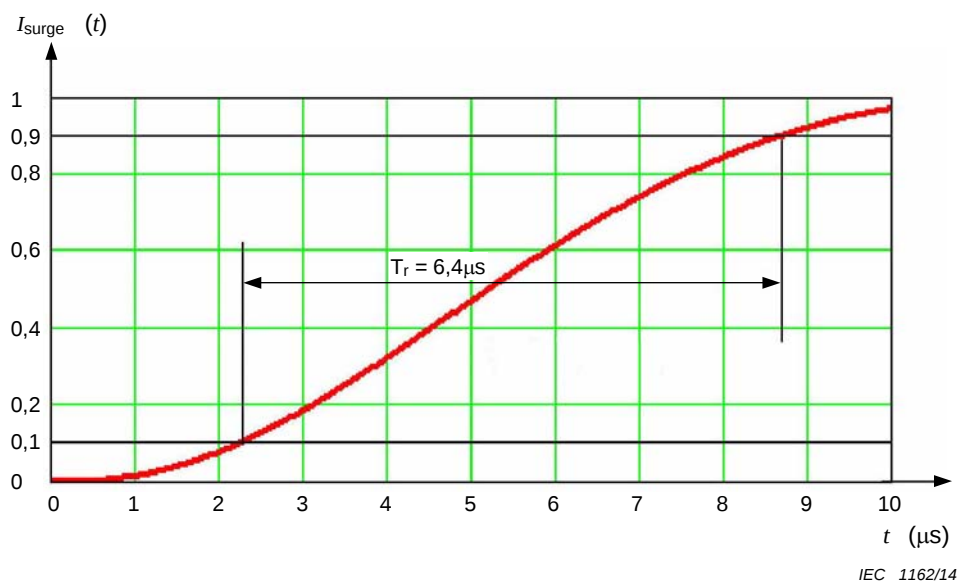


Figure E.5 – Current surge (8/20 μ s): rise time response T_r

The magnitude of the spectral response corresponding to Equation (E.2) is shown in Figure E.6.

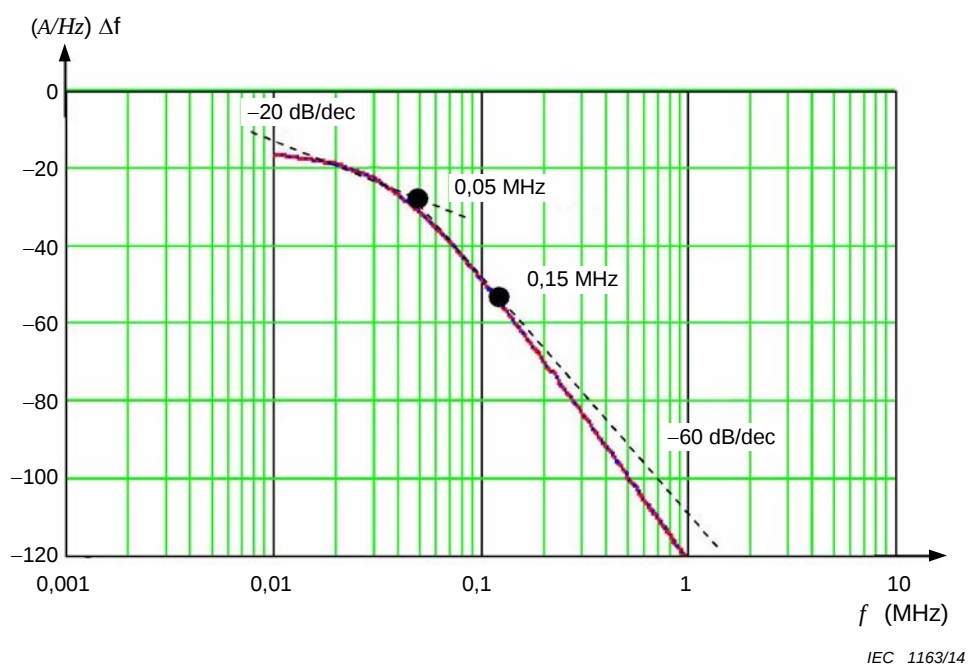


Figure E.6 – Current surge (8/20 μ s): spectral response with $\Delta f = 10$ kHz

The current impulse in the time domain is simulated well for frequencies up to 0,15 MHz, therefore the associated bandwidth $BW = 0,15$ MHz.

E.4 Normalized time domain voltage surge (10/700 μ s)

The normalized time domain expression of the 10/700 μ s voltage surge is given by

$$v_{\text{SURGE}}(t) = k_V \cdot \left[\frac{v_1}{k_{\text{SURGE}}} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}} \cdot e^{\frac{-t}{\tau_2}} \right] \quad (\text{E.3})$$

The coefficients that appear in Equation (E.3) have the following values

$$k_V = 1 \quad \tau_1 = 2,574 \text{ } \mu\text{s} \quad \tau_2 = 945,1 \text{ } \mu\text{s} \quad v_1 = 0,937 \quad \eta_{\text{SURGE}} = 1,749$$

$$k_{\text{SURGE}} = e^{\frac{-\tau_1}{\tau_2} \left(\frac{\eta_{\text{SURGE}} \cdot \tau_2}{\tau_1} \right)^{\frac{1}{\eta_{\text{SURGE}}}}}$$

The plot of the 10/700 μs voltage surge as a function of time is shown in Figure E.7.

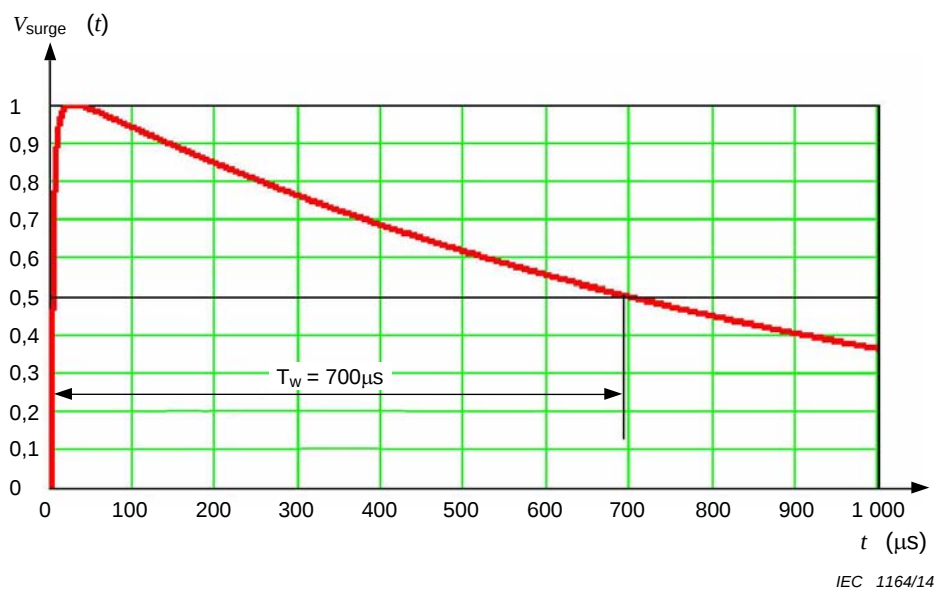


Figure E.7 – Voltage surge (10/700 μs): width time response T_w

An expansion to highlight the early time response is plotted in Figure E.8.

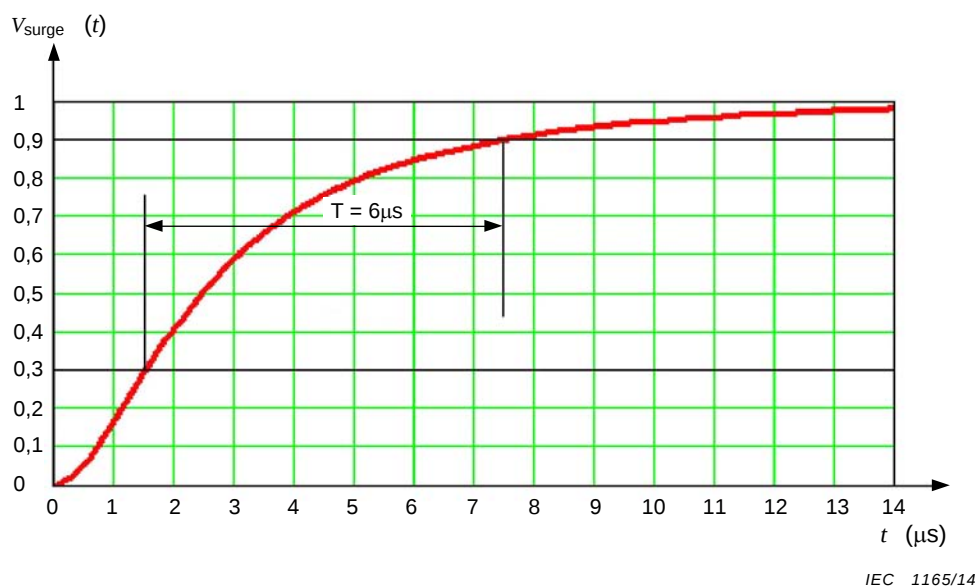


Figure E.8 – Voltage surge (10/700 μ s): rise time response T

The magnitude of the spectral response corresponding to Equation (E.3) is shown in Figure E.9.

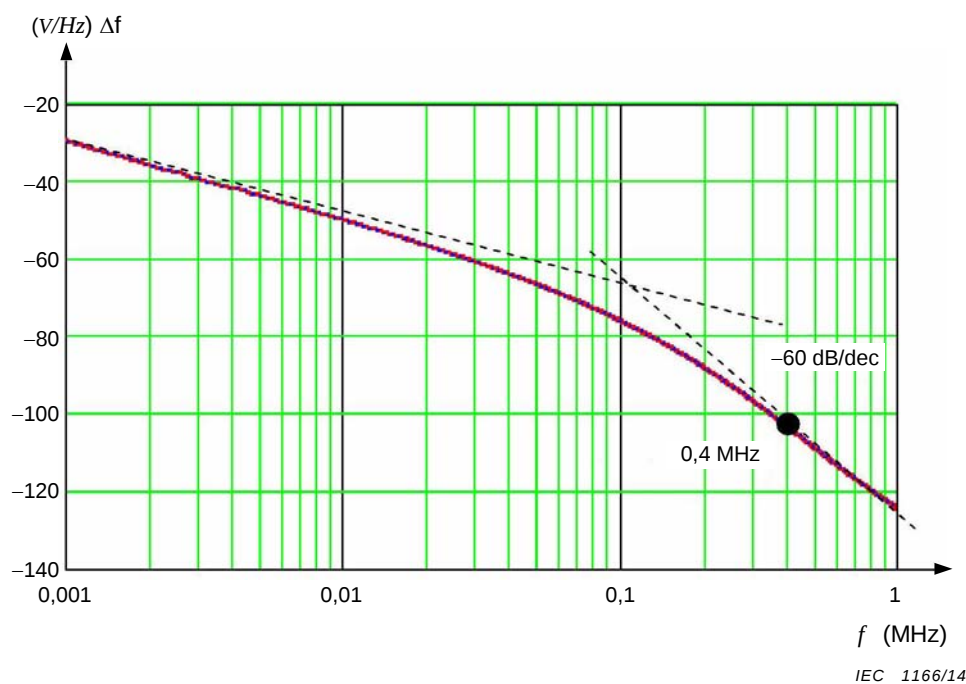


Figure E.9 – Voltage surge (10/700 μ s): spectral response with $\Delta f = 0,2$ kHz

The voltage impulse in the time domain is simulated well for frequencies up to 0,4 MHz, therefore the associated bandwidth BW = 0,4 MHz.

E.5 Normalized time domain current surge (5/320 μ s)

The normalized time domain expression of the 5/320 μ s current surge is given by

$$I_{\text{SURGE}}(t) = k_i \cdot \left[\frac{i_1}{k_{\text{SURGE}}} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1} \right)^{\eta_{\text{SURGE}}}}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1} \right)^{\eta_{\text{SURGE}}}} \cdot e^{\frac{-t}{\tau_2}} \right] \quad (\text{E.4})$$

The coefficients that appear in (E.4) have the following values

$$k_i = 1 \quad \tau_1 = 1,355 \text{ } \mu\text{s} \quad \tau_2 = 429,1 \text{ } \mu\text{s} \quad i_1 = 0,895 \quad \eta_{\text{SURGE}} = 1,556$$

$$k_{\text{SURGE}} = e^{\frac{-\tau_1}{\tau_2} \left(\frac{\eta_{\text{SURGE}} \cdot \tau_2}{\tau_1} \right)^{\frac{1}{\eta_{\text{SURGE}}}}}$$

The plot of the 5/320 μs current surge as a function of time is shown in Figure E.10.

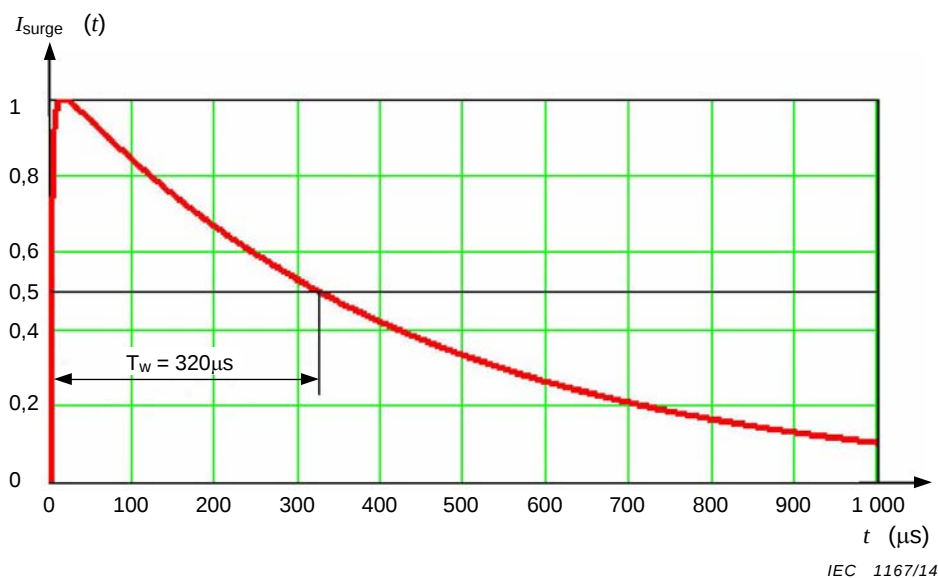


Figure E.10 – Current surge (5/320 μs): width time response T_w

An expansion to highlight the early time response is plotted in Figure E.11.

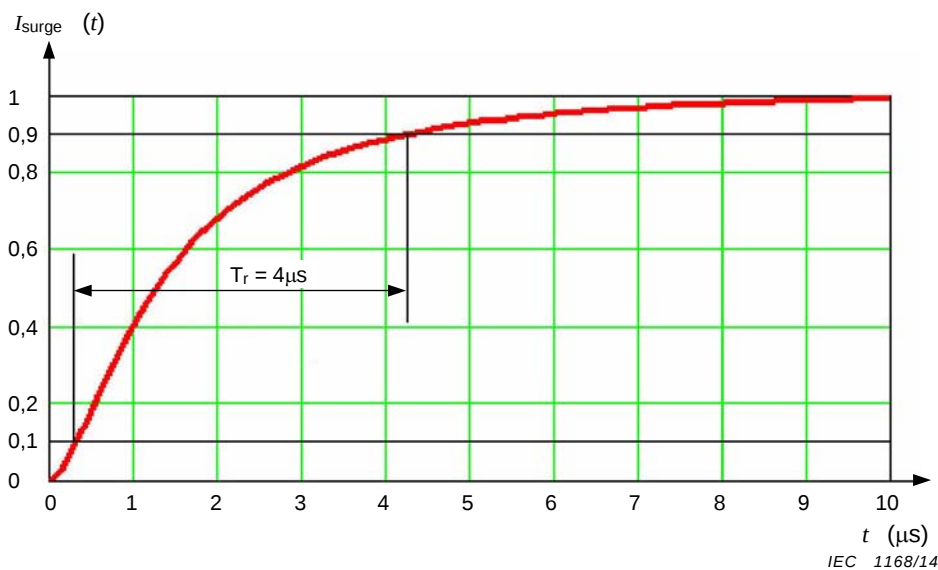


Figure E.11 – Current surge (5/320 μ s): rise time response T_r

The magnitude of the spectral response corresponding to Equation (E.4) is shown in Figure E.12.

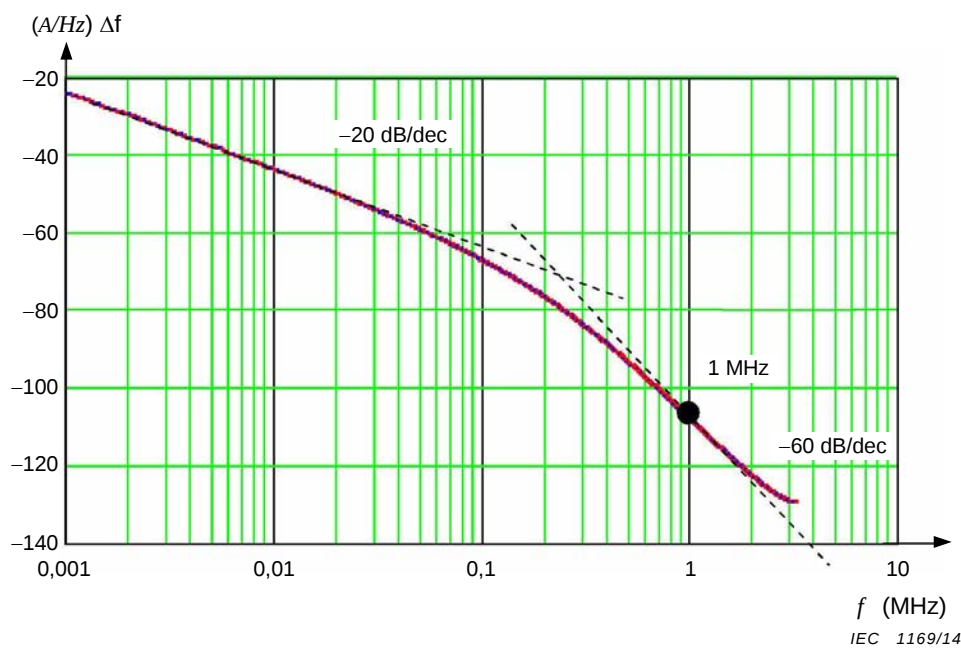


Figure E.12 – Current surge (5/320 μ s): spectral response with $\Delta f = 0,4$ kHz

The current impulse in the time domain is simulated well for frequencies up to 1 MHz, therefore the associated bandwidth $BW = 1$ MHz.

Annex F (informative)

Measurement uncertainty (MU) considerations

F.1 Legend

V_P	peak of the open-circuit voltage impulse
T_{fV}	front time of the open-circuit voltage impulse: $T_{fV} = 1,67 T_V$
T_V	rise time of the open-circuit voltage impulse defined as the time from 30 % to 90 % of the peak value
T_{rV}	rise time of the open-circuit voltage impulse, defined as the time from 10 % to 90 % of the peak value: $T_{rV} = 0,80 T_{fV} = 1,33 T_V$
T_w	width of the open-circuit voltage impulse
I_P	peak of the short-circuit current impulse
T_{fi}	front time of the short-circuit current impulse: $T_{fi} = 1,25 T_{ri}$
T_{ri}	rise time of the short-circuit current impulse, defined as the time from 10 % to 90 % of the peak value
T_d	duration of the short-circuit current impulse

NOTE The meaning and the relations among the symbols $u(x_i)$, c_i , $u_i(y)$, $u_c(y)$, $U(y)$ and y are explained in IEC/TR 61000-1-6.

F.2 General

The compliance of the realized disturbance quantity with the disturbance quantity specified by this standard is usually confirmed through a set of measurements (e.g. measurement of the rise time of an impulse with an oscilloscope by using attenuators). The result of each measurement includes a certain amount of measurement uncertainty (MU) due to the imperfection of the measuring instrumentation as well as to the lack of repeatability of the measurand itself. The evaluation of MU is here done according to the principles and methods described in IEC/TR 61000-1-6.

In order to evaluate MU it is necessary to:

- a) identify the sources of uncertainty, related both to the measuring instrumentation and to the measurand,
- b) identify the functional relationship (measurement model) between the influence (input) quantities and the measured (output) quantity,
- c) obtain an estimate and standard uncertainty of the input quantities,
- d) obtain an estimate of the interval containing, with a high level of confidence, the true value of the measurand.

Further details are given in IEC/TR 61000-1-6.

In immunity tests estimates and uncertainties are evaluated for the parameters of the disturbance quantity (e.g. rise time, peak and duration). As such, they describe the degree of agreement of the disturbance quantity with the relevant specifications of this basic standard.

These estimates and uncertainties, derived for a particular disturbance quantity, do not describe the degree of agreement between the simulated electromagnetic phenomenon, as

defined in the basic standard, and the real electromagnetic phenomenon in the world outside the laboratory.

Since the effect of the parameters of the disturbance quantity on the EUT is a priori unknown and in most cases the EUT shows a nonlinear behavior, a single estimate and uncertainty numbers cannot be defined for the disturbance quantity. Therefore each of the parameters of the disturbance quantity will be accompanied by the corresponding estimate and uncertainty. This yields to more than one uncertainty budget.

F.3 Uncertainty contributors to the surge measurement uncertainty

The following list shows the contributors used to assess both the measuring instrumentation and test setup influences:

- reading of peak value
- reading of 10 % (or 30 %) level
- reading of 90 % level
- reading of 50 % level
- bandwidth of the measuring system
- shape of the impulse response of the measuring system
- oscilloscope horizontal axis measurement error
- oscilloscope vertical axis measurement error
- measurement system, measurand and setup repeatability (type A)
- calibration of oscilloscope and measuring system

F.4 Uncertainty of surge calibration

F.4.1 General

In the case of the surge test, the disturbance quantities are the surge voltage and the surge current generated by the surge generator and applied to the EUT. As discussed in F.2, an uncertainty budget for each measured parameter of the disturbance quantity is required. The parameters of these disturbance quantities are V_P , T_{fV} and T_W for the open-circuit voltage and I_P , T_{fI} and T_d for the short-circuit current.

The approach here adopted to evaluate impulse MU is described in F.4.6 and F.4.7. Tables F.1, F.2 and F.3 give examples of uncertainty budgets for the surge parameters. The tables include the input quantities that are considered most significant for these examples, the details (numerical values, type of probability density function, etc.) of each contributor to MU and the results of the calculations required for determining each uncertainty budget.

F.4.2 Front time of the surge open-circuit voltage

The measurand is the surge open-circuit voltage front time calculated by using the functional relationship

$$T_{fV} = 125 \sqrt{[133(T_{90\%} - T_{30\%} + \delta R)]^2 - T_{MS}^2}$$

where

$$T_{MS} = \frac{\alpha}{B} \quad (F.1)$$

and:

$T_{30\%}$	time at 30 % of peak amplitude
$T_{90\%}$	time at 90 % of peak amplitude
δR	correction for non-repeatability
T_{MS}	rise time of the step response of the measuring system (10 % to 90 %)
B	–3 dB bandwidth of the measuring system
α	coefficient whose value is $(360 \pm 40) \mu\text{s} \cdot \text{kHz}$ (B in kHz and T_{MS} in μs)

Table F.1 – Example of uncertainty budget for surge open-circuit voltage front time (T_{IV})

Symbol	Estimate	Unit	Error bound	Unit	PDF ^a	Divisor	$u(x_i)$	c_i	Unit	$u_i(y)$	Unit
$T_{30\%}$	0,25	μs	0,005 0	μs	triangular	2,45	0,002 0	–2,08	1	0,004 3	μs
$T_{90\%}$	1,15	μs	0,005 0	μs	triangular	2,45	0,002 0	2,08	1	0,004 3	μs
δR	0	μs	0,025	μs	normal ($k=1$)	1,00	0,025	2,08	1	0,052	μs
α	360	$\mu\text{s} \cdot \text{kHz}$	40	$\mu\text{s} \cdot \text{kHz}$	rectangular	1,73	23,1	–0,001 9	1/kHz	0,043	μs
B	500	kHz	50	kHz	rectangular	1,73	28,9	0,001 4	$\mu\text{s}/\text{kHz}$	0,039	μs
							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0,08	μs
							$U(y) = 2 u_c(y)$			0,16	μs
							y			1,20	μs

^a Probability density function.

$T_{30\%}$, $T_{90\%}$: is the time reading at 30 % or 90 % of the peak amplitude. The error bound is obtained assuming a sampling frequency of 100 MS/s and trace interpolation capability of the scope (triangular probability density function). Would this not be the case, a rectangular probability density function should be assumed. Only the contributor to MU due to the sampling rate is considered here, for additional contributors see F.4.5. The readings are assumed to be $T_{30\%} = 0,25 \mu\text{s}$ and $T_{90\%} = 1,15 \mu\text{s}$.

T_{MS} : is the calculated rise time of the step response of the measuring system. The coefficient α (see F.1) depends on the shape of the impulse response of the measuring system. The range $(360 \pm 40) \mu\text{s} \cdot \text{kHz}$ is representative of a wide class of systems, each having a different shape of the impulse response (see F.4.6 and Table F.4). The bandwidth B of the measuring system can be experimentally obtained (direct measurement of the bandwidth) or calculated from the bandwidth B_i of each element of the measurement system (essentially a voltage probe, a cable and a scope) by using the following equation:

$$\frac{1}{B} = \sqrt{\left(\frac{1}{B_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{B_2}\right)^2 + \dots}$$

An estimate of 500 kHz and a 50 kHz error bound of a rectangular probability density function are assumed for B .

δR : is the 30 % to 90 % rise time non-repeatability. It quantifies the lack of repeatability in the measurement of $T_{90\%} - T_{30\%}$ due to the measuring instrumentation, the layout of the measurement setup and the surge generator itself. It is determined experimentally. This is a type A evaluation based on the formula of the experimental standard deviation $s(q_k)$ of a sample of n repeated measurements q_j and given by

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}$$

where $\bar{q}$ is the arithmetic mean of the q_j values. An error bound $s(q_k) = 25$ ns (1 standard deviation of a normal probability density function) and an estimate of 0 ns are assumed.

NOTE For the short-circuit current, the budget can be similarly obtained. In that case T_{MS} includes the bandwidth of the current probe in place of the voltage probe. Further the functional relationship is modified as follows:

$$T_{IV} = 1,25 \sqrt{(T_{90\%} - T_{10\%} + \delta R)^2 - T_{MS}^2}$$

F.4.3 Peak of the surge open-circuit voltage

The measurand is the peak of the surge open-circuit voltage calculated by using the functional relationship

$$V_p = \frac{V_{PR}(1 + \delta R + \delta V)}{1 - \left(\frac{\beta}{B}\right)^2} A$$

where

V_{PR}	voltage peak reading
A	d.c. attenuation of the voltage probe
δR	correction for non-repeatability
δV	d.c. vertical accuracy of the scope
B	–3 dB bandwidth of the measuring system
β	coefficient whose value is $(12,7 \pm 1,4)$ kHz

Table F.2 – Example of uncertainty budget for surge open-circuit voltage peak value (V_p)

Symbol	Estimate	Unit	Error bound	Unit	PDF ^a	Divisor	$u(x_i)$	c_i	Unit	$u_i(y)$	Unit
V_{PR}	3,84	V	0,007 5	V	triangular	2,45	0,0031	1001	1	3,06	V
A	1 000	1	50	1	rectangular	1,73	28,9	3,84	V	111	V
δR	0	1	0,03	1	normal ($k = 1$)	1,00	0,03	$3,84 \times 10^3$	V	115	V
δV	0	1	0,02	1	rectangular	1,73	0,012	$3,84 \times 10^3$	V	44,4	V
B	12,7	kHz	1,4	kHz	rectangular	1,73	0,81	0,38	V/kHz	0,32	V
β	500	kHz	50	kHz	rectangular	1,73	28,9	0,009 6	V/kHz	0,29	V
							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0,166	kV
							$U(y) = 2 u_c(y)$			0,33	kV
							y			3,84	kV
							Expressed in % of 3,84 kV			8,6	%

^a Probability density function.

V_{PR} : is the voltage peak reading. The error bound is obtained assuming that the scope has an 8-bit vertical resolution with interpolation capability (triangular probability density function).

A : is the d.c. attenuation of the voltage probe. An estimated value of 1 000 and an error bound of 5 % (rectangular probability density function) are assumed.

δR : quantifies the non-repeatability of the measurement setup, layout and instrumentation. It is a type A evaluation quantified by the experimental standard deviation of a sample of repeated measurements of the peak voltage. It is expressed in relative terms and an estimate of 0 % and an error bound of 3 % (1 standard deviation) are assumed.

δV : quantifies the amplitude measurement inaccuracy of the scope at d.c. A 2 % error bound of a rectangular probability density function and an estimate of 0 are assumed.

β : is a coefficient which depends on the shape of both the impulse response of the measuring system and the standard impulse waveform in the neighborhood of the peak (see F.4.7). The interval $(12,7 \pm 1,4)$ kHz is representative of a wide class of systems, each having a different shape of the impulse response.

B: see F.4.2., same meaning and same values both for the estimate and error bound.

NOTE For the short-circuit current, the budget can be treated similarly. In that case *B* includes the bandwidth of the current probe in place of the voltage probe. Further the parameter β is modified according to Table F.5 in F.4.7.

F.4.4 Duration of the surge open-circuit voltage

The measurand is the duration of the surge open-circuit voltage calculated by using the functional relationship

$$T_W = (T_{50\%,F} - T_{50\%,R} + \delta R) \cdot \left[1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2 \right]$$

where

$T_{50\%,R}$	time at 50 % of peak amplitude at the rising edge of the surge
$T_{50\%,F}$	time at 50 % of peak amplitude at the falling edge of the surge
δR	correction for non-repeatability
B	– 3 dB bandwidth of the measuring system
β	coefficient which value is $(12,7 \pm 1,4)$ kHz

Table F.3 – Example of uncertainty budget for surge open-circuit voltage duration (T_d)

Symbol	Estimate	Unit	Error bound	Unit	PDF ^a	Divisor	$u(x_i)$	c_i	Unit	$u_i(y)$	Unit
$T_{50\%,R}$	0,5	μs	0,005 0	μs	triangular	2,45	0,002 0	-1,00	μs	0,002 0	μs
$T_{50\%,F}$	51,2	μs	0,005 0	μs	triangular	2,45	0,002 0	1,00	μs	0,002 0	μs
δR	0	μs	0,15	μs	normal ($k=1$)	1,00	0,15	1,00	μs	0,15	μs
β	12,7	kHz	1,4	kHz	rectangular	1,73	0,81	-0,005 2	μs/kHz	0,004 2	μs
B	500	kHz	50	kHz	rectangular	1,73	28,9	0,000 13	μs/kHz	0,003 8	μs
							$U_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0,15	μs
							$U(y) = 2 u_c(y)$			0,3	μs
							Y			50,7	μs

^a Probability density function.

$T_{50\%,R}$, $T_{50\%,F}$: is the time reading at 50 % of the peak amplitude on the rising or falling edge of the surge open-circuit voltage. The error bound is obtained assuming a sampling frequency of 100 MS/s (the same as in F.4.2) and a trace interpolation capability of the scope (triangular probability density function). Would this not be the case, a rectangular probability density function should be assumed. Only the contributor to MU due to sampling rate is considered here. For additional contributors see F.4.5. The readings are assumed to be $T_{50\%,R} = 0,5$ μs and $T_{50\%,F} = 51,2$ μs.

δR : quantifies the non-repeatability of the $T_{50\%,F} - T_{50\%,R}$ time difference measurement due to the measuring instrumentation, the layout of the measurement setup and the surge generator itself. It is determined experimentally. This is a type A evaluation quantified by the experimental standard deviation of a sample of repeated measurements. An error bound $s(q_k) = 150$ ns (1 standard deviation of a normal probability density function) and an estimate of 0 ns are assumed.

β : see F.4.3, same meaning and same values both for the estimate and error bound.

B: see F.4.2, same meaning and same values both for the estimate and error bound.

NOTE For the time duration T_d of the short-circuit current, the budget can be treated similarly. In that case B includes the bandwidth of the current probe, in place of the voltage probe. Further the parameter β is modified according to Table F.5 in F.4.7 and the functional relationship is

$$T_d = 118 \cdot (T_{50\%,F} - T_{50\%,R} + \delta R) \cdot \left[1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2 \right]$$

F.4.5 Further MU contributions to time and amplitude measurements

Time base error and jitter: the oscilloscope specifications may be taken as error bounds of rectangular probability density functions. Usually these contributions are negligible.

Vertical resolution: the contribution depends on the vertical amplitude resolution ΔA and on the slope of the trace dA/dt . The uncertainty is related to the half width of the resolution and is $(\Delta A/2)/(dA/dt)$. If trace interpolation is performed (see the oscilloscope manual) a triangular probability density function is used, otherwise a rectangular probability density function is used. This contribution may not be negligible, when $|dA/dt| < (\Delta A/T_i)$, where T_i is the sampling interval of the scope.

DC offset: The DC offset of the scope contributes to the voltage peak measurement uncertainty, if the peak is measured from the nominal DC zero line of the scope. This contribution can be ignored, if the readout software of the scope measures the peak from the impulse base line.

F.4.6 Rise time distortion due to the limited bandwidth of the measuring system

The distortion of the rise time is evaluated through the usual rule of combination of the rise times, which is valid when two non-interacting systems are cascaded and their step responses monotonically increase (see Elmore), i.e.

$$T_{rd} = \sqrt{T_r^2 + T_{MS}^2} \quad (F.2)$$

where T_{rd} is the rise time of the signal at the output of the measuring system (distorted rise time), T_r is the rise time of the signal at the input of the measuring system, and T_{MS} is the rise time of the step response of the measuring system. It is important to observe that the derivation of Equation (F.2) is based on the following definition of the rise time (see Elmore)

$$T_{MS} = \sqrt{2\pi \int_0^{\infty} (t - T_s)^2 h_0(t) dt} \quad (F.3)$$

where $h_0(t)$ is the impulse response of the measuring system having a normalized area, i.e.

$\int_0^{\infty} h_0(t) dt = 1$, and T_s is the delay time given by

$$T_s = \int_0^{\infty} t h_0(t) dt \quad (F.4)$$

Equation (F.3) is much easier to handle, from the mathematical point of view, than the usual one based on the 10 % and 90 % threshold levels. Nonetheless, in the technical applications, the 10 % to 90 % rise times are usually combined through Equation (F.2). Given the

bandwidth of the system the two definitions lead to comparable rise times. Indeed, if we define

$$\alpha = T_{MS} \cdot B \quad (\text{F.5})$$

We find that the α values derived from the two definitions of rise time do not differ very much. The values of α , corresponding to different shapes of the impulse response $h(t)$, are given in Table F.4. It is evident from Table F.4 that it is not possible to identify a unique value of α since α depends both on the adopted definition of the rise time (e.g. based on thresholds or on equation (F.3)) and on the shape of the impulse response of the measuring system. A reasonable estimate of α can be obtained as the arithmetic mean between the minimum (321×10^{-3}) and maximum (399×10^{-3}) values that appear in Table 1, that is 360×10^{-3} . Further, it can be assumed that, if no information is available about the measuring system apart from its bandwidth, any value of α between 321×10^{-3} and 399×10^{-3} is equally probable. Differently stated, α is assumed to be a random variable having a rectangular probability density function with lower and upper bounds 321×10^{-3} and 399×10^{-3} , respectively. The standard uncertainty of α quantifies both: a) the indifference to the mathematical model adopted for the definition of the rise time, and b) the indifference to the shape of the impulse response of the system.

Table F.4 – α factor, Equation (F.5), of different unidirectional impulse responses corresponding to the same bandwidth of the system B

Values of α are multiplied by 10^3	Gaussian	I order	II order (crit. damp.)	Rectangular	Triangular
α : Equation (F.3)	332	399	363	321	326
α : 10 % to 90 %	339	350	344	354	353

F.4.7 Impulse peak and width distortion due to the limited bandwidth of the measuring system

The distorted impulse waveform $V_{\text{out}}(t)$ at the output of the measuring system is given by the convolution integral

$$V_{\text{out}}(t) = \int_0^t V_{\text{in}}(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau \quad (\text{F.6})$$

where $V_{\text{in}}(t)$ is the input impulse waveform and $h(t)$ is the impulse response of the measuring system. Note that $A \cdot h(t) = h_0(t)$, where A is the d.c. attenuation of the measuring system. The input waveform can be approximated by its Taylor series expansion about the time instant t_p when the input reaches its peak value V_p .

$$V_{\text{in}}(t) = V_p + \frac{V_{\text{in}}''(t_p)}{2} \cdot (t - t_p)^2 + \frac{V_{\text{in}}'''(t_p)}{6} \cdot (t - t_p)^3 + \dots \quad (\text{F.7})$$

Note that the first order term is missing from Equation (F.7) since $V'(t_p) = 0$. Further $V_{\text{in}}''(t_p) < 0$, because the concavity points downwards (maximum), and $V_{\text{in}}'''(t_p) > 0$, because – for the standard waveforms of interest here – the rise time is lower than the fall time. Substituting Equation (F.7) into Equation (F.6) and after simplifications, valid when the bandwidth of the measuring system is large with respect to the bandwidth of the input signal (so that the power series terms whose order is greater than two are negligible), we obtain

$$V_{pd} = \frac{V_p}{A} \left[1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2 \right] \quad (\text{F.8})$$

where V_{pd} is the output impulse peak, A is the d.c. attenuation of the measuring system and

$$\beta = \alpha \cdot \sqrt{\frac{V_{in}''(t_p)}{4\pi V_p}} \quad (\text{F.9})$$

Note that the parameter β depends on the second derivative of the standard input waveform and on the parameter α defined and derived in F.4.6. Since the mathematical expression for the standard surge waveforms are given in Annex F of this standard, the value of β can be numerically calculated and is reported in Table F.5.

The estimate of the distortion of the input impulse width T_w is simply obtained considering that the area of the output impulse is that of the input impulse divided by the d.c. attenuation A . Therefore

$$V_p T_w = A V_{pd} T_{wd} \quad (\text{F.10})$$

where T_{wd} is the output impulse width. Hence

$$T_{wd} = \frac{V_p}{A V_{pd}} \cdot T_w = \frac{1}{1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2} \cdot T_w \quad (\text{F.11})$$

Table F.5 – β factor, Equation (F.9), of the standard surge waveforms

kHz	1,2/50 μs	8/20 μs	10/700 μs	5/320 μs
β	$12,7 \pm 1,4$	$14,8 \pm 1,6$	$1,05 \pm 0,11$	$2,00 \pm 0,22$

F.5 Application of uncertainties in the surge generator compliance criterion

Generally, in order to be confident that the generator is within its specifications, the calibration results should be within the specified limits of this standard (tolerances are not reduced by MU). Further guidance is given in Clause 6 of IEC/TR 61000-1-6:2012.

Annex G (informative)

Method of calibration of impulse measuring systems

G.1 General

The calibration of the generator requires the use of a measurement system that, unfortunately, introduces a distortion of the measured impulse waveform. The distortion is a function of the applied impulse and of the used measuring system characteristics.

An estimate of the response of the measurement system to the standardized impulse can be obtained from the convolution integral (IEEE Std 4-1995 and IEC 60060-2). The method requires the acquisition of the experimental step response of the measurement system and then, through numerical computation, the distortion induced to the theoretical impulse waveform by the measurement system is evaluated. This allows one to estimate the effect of the measuring system response on the parameters of the impulse, i.e. rise time, peak value and duration. The detected systematic errors can be used to correct the calibration results, allowing an increase in accuracy of the calibration.

G.2 Estimation of measuring system response using the convolution integral

Theoretically, the transfer function of the measuring system used for calibration (transducer plus oscilloscope) can be determined by applying the Dirac ideal impulse to the input of the system. The availability of the transfer function allows one to estimate the distortion induced by the measuring system. Let $V_{in}(t)$ be the impulse applied at the input of the measuring system. The impulse at the output, $V_{out}(t)$, is calculated by using the convolution integral:

$$V_{out}(t) = \int_0^t V_{in}(\tau) \cdot h_0(t - \tau) d\tau \quad (G.1)$$

where $h_0(t)$ is the normalized impulse response of the measuring system, i.e. $\int_0^{\infty} h_0(t) dt = 1$.

Since it is more practical to measure the step response than the impulse response of the measuring system, the experimental normalized step response $g(t)$ is used in place of $h_0(t)$ and Equation G.1 is modified as follows:

$$V_{out}(t) = \frac{d}{dt} \int_0^t V_{in}(\tau) \cdot g(t - \tau) d\tau \quad (G.2)$$

where $g(t) = \int_0^t h_0(\tau) d\tau$. For the determination of $g(t)$, the measuring system is subjected to a voltage/current step and its output is measured. The rise time of the applied step should be less than 1/10 of the front/rise time of the impulse (see Table 2) since the unavoidable non-ideality of the stepped source propagates to $V_{out}(t)$, and therefore it appears as a non-ideality of the measurement system used. Moreover, due to the transducer attenuation, the step amplitude should be high enough to ensure, at the oscilloscope input, a signal with sufficient dynamics for good accuracy.

Annex E gives a mathematical model of the surge standard waveforms generated by the 1,2/50 μs and 10/700 μs combination wave generators. Such mathematical waveforms can be adopted as the input $V_{\text{in}}(t)$. The corresponding distorted output $V_{\text{out}}(t)$ is calculated through Equation (G.2). By comparison between $V_{\text{in}}(t)$ and $V_{\text{out}}(t)$ the systematic error produced by the measuring system on the parameters of the standard waveform (rise time, peak value and duration) is easily detected.

The calibration method involves the use of a transducer (voltage/current divider) and an oscilloscope. Both the transducer and the oscilloscope shall have sufficient bandwidth and voltage/current capability to handle the open-circuit voltage/short-circuit current waveform. For the oscilloscope, a bandwidth of at least 10 MHz and a sampling frequency of 100 MS/s are required.

G.3 Impulse measuring system for open-circuit voltage (1,2/50 μs , 10/700 μs)

A voltage step signal is applied at the input of the voltage divider and the step response is recorded by using a digital storage oscilloscope. The voltage step generator should meet the requirements in G.1. The recorded step response is then normalized so that the steady-state level becomes unity. The measuring system (voltage divider plus oscilloscope) response $U_{\text{out}}(t)$ to the standardized open-circuit voltage can be calculated as

$$U_{\text{out}}(t) = \frac{d}{dt} \int_0^t U_{\text{in}}(\tau) \cdot g_u(t - \tau) d\tau \quad (\text{G.3})$$

where

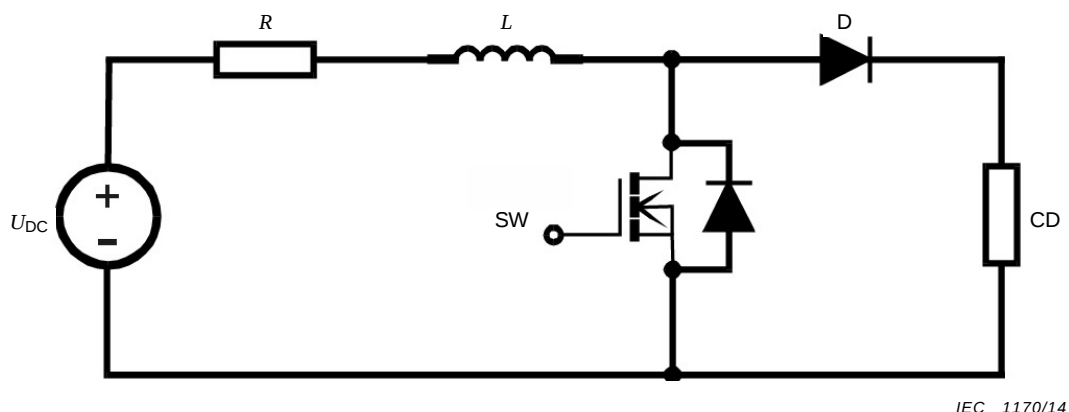
- $g_u(t)$ is the normalized experimental step response of the voltage measurement system
- $U_{\text{in}}(t)$ is the standardized open-circuit voltage waveform

The systematic error introduced by the measuring system is evaluated by comparing $U_{\text{in}}(t)$ with $U_{\text{out}}(t)$. The surge calibration result is then corrected for the systematic error.

The scaling factor of the voltage divider shall be evaluated at d.c. for the purpose of open-circuit voltage calibration. In order to reduce measurement uncertainty, the same oscilloscope should be used both for recording the step response of the measuring system and for the calibration of the surge generator. Since the voltage amplitude of the step is usually much lower than the voltage amplitude of the surge impulse, then a change of the vertical scale of the oscilloscope (volt per division) is likely to be needed when performing the two measurements. The uncertainty contribution due to the oscilloscope vertical scale switching is negligible if a modern digital storage oscilloscope is used. However, the traceable calibration of the vertical scale of the oscilloscope is recommended, so that vertical scale inaccuracy can be evaluated according to the chosen volt-per-division setting.

G.4 Impulse measuring system for short-circuit current (8/20 μs , 5/320 μs)

A current step signal is applied at the input of the current divider and the step response is recorded by using a digital storage oscilloscope. A simplified circuit diagram of a suitable current step generator is given in Figure G.1. The current step generator should meet the requirements in G.1.



- U_{DC} stabilized, adjustable d.c. voltage source
- R current limiting resistor
- L energy storage inductor
- SW fast power switch
- D fast power diode
- CD current divider

Figure G.1 – Simplified circuit diagram of the current step generator

The recorded step response is then normalized so that the steady-state level becomes unity. The measuring system (current divider plus oscilloscope) response $I_{out}(t)$ to the standardized short-circuit current can be calculated as:

$$I_{out}(t) = \frac{d}{dt} \int_0^t I_{in}(\tau) \cdot g_i(t - \tau) d\tau \quad (G.4)$$

where

- $g_i(t)$ is the normalized experimental step response of the current measurement system
- $I_{in}(\tau)$ is the standardized short-circuit current waveform

The systematic error introduced by the measuring system is evaluated by comparing $I_{in}(\tau)$ with $I_{out}(t)$. The surge calibration result is then corrected for the systematic error.

A calibrated current shunt or current transformer should be used for the purpose of short-circuit current calibration. In order to reduce measurement uncertainty the same oscilloscope may be used both for recording the step response of the measuring system and for the calibration of the surge generator. Since the voltage amplitude of the step is usually much lower than the voltage amplitude of the surge impulse then a change of the vertical scale of the oscilloscope (volt per division) is likely to be needed when performing the two measurements. The uncertainty contribution due to the oscilloscope vertical scale switching is negligible if a modern digital storage oscilloscope is used. However, the traceable calibration of the vertical scale of the oscilloscope is recommended so that vertical scale inaccuracy can be evaluated according to the chosen volt-per-division setting.

Annex H (informative)

Coupling/decoupling surges to lines rated above 200 A

H.1 General

As high current EUTs have low impedances which might load the surge generator so that most of the surge energy gets absorbed in the surge generator output impedance, an initial assessment might be carried out in order to determine:

- if the surge test makes sense,
- if sub-assemblies can be tested individually,
- whether the EUT can be tested in a mode consuming lower current (see 6.3).

Usually high current EUTs are tested in-situ.

Consideration of the action of built-in SPDs should be made. The SPDs have a good performance when the applied surge is high enough to make them operate. SPDs generally absorb most of the surge. If the surge voltage is lower than the SPD firing threshold, the full surge flows into the EUT.

H.2 Considerations of coupling and decoupling

To test high current EUTs for which no commercial CDNs are available, the following setup can be used:

- The coupling network as shown in Figures 7 and 8 shall be used.
- The decoupling network may consist of single chokes or a long enough supply cable to provide sufficient inductance, assuming that a straight 1 m length of wire represents about 1 μH . The recommended inductance values are given in Table H.1. A single choke or wire should be used per line in order to ensure proper differential mode decoupling.

Decoupling elements like capacitors or MOVs or combinations of both may not be necessary in the decoupling network.

Table H.1 – Recommended inductance values for decoupling lines (> 200 A)

EUT rated current	Recommended decoupling inductance
200 A < current rating $\leq$ 400 A	200 μH to 100 μH
400 A < current rating $\leq$ 800 A	100 μH to 50 μH
800 A < current rating $\leq$ 1 600 A	50 μH to 25 μH
I [Ampere] < current rating $\leq 2 \times I$	Inductance reduces by a factor of 2

H.3 Additional precautions

When testing on 3-phase power systems, where the EUT has a rated voltage of more than 415 V per phase, the supply voltage may damage the surge generator.

The coupling components shall have at least the same voltage rating as the EUT.

Bibliography

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

IEC 60364-4-44, *Low-voltage electrical installations – Part 4-44: Protection for safety – Protection against voltage disturbances and electromagnetic disturbances*

IEC 60664-1, *Insulation coordination for equipment within low-voltage systems – Part 1: Principles, requirements and tests*

IEC/TR 61000-1-6:2012, *Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 1-6: General – Guide to the assessment of measurement uncertainty*

IEC 61000-4-4, *Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test*

IEC 61643 (all parts), *Low-voltage surge protective devices*

IEC 61643-11, *Low-voltage surge protective devices – Part 11: Surge protective devices connected to low-voltage power systems – Requirements and test methods*

IEC 61643-12, *Low-voltage surge protective devices – Part 12: Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Selection and application principles*

IEC 61643-21:2000, *Low voltage surge protective devices – Part 21: Surge protective devices connected to telecommunications and signalling networks – Performance requirements and testing methods*

Amendment 1:2008

Amendment 2:2012

IEC 62305-1, *Protection against lightning – Part 1: General principles*

IEEE Std 4-1995, *IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing*

IEEE Std C62.45-2002, *IEEE Recommended Practice on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits*

ITU-T K.44, *Resistibility tests for telecommunication equipment exposed to overvoltages and overcurrents – Basic Recommendation*

W.C. Elmore, *“The Transient Response of Damped Linear Networks with Particular Regard t*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	81
INTRODUCTION.....	83
1 Domaine d'application et objet.....	84
2 Références normatives.....	84
3 Termes, définitions et abréviations	85
3.1 Termes et définitions	85
3.2 Abréviations.....	88
4 Généralités.....	89
4.1 Transitoires de manœuvre sur les réseaux électriques.....	89
4.2 Transitoires de foudre	89
4.3 Simulation des transitoires.....	89
5 Niveaux d'essai	90
6 Instrumentation d'essai.....	90
6.1 Généralités	90
6.2 Générateur d'ondes combinées 1,2/50 μ s	90
6.2.1 Généralités	90
6.2.2 Caractéristiques de performance du générateur.....	91
6.2.3 Etalonnage du générateur.....	93
6.3 Réseaux de couplage/découplage.....	94
6.3.1 Généralités	94
6.3.2 Réseaux de couplage/découplage pour accès d'alimentation en c.a./c.c. de valeur assignée jusqu'à 200 A par ligne	96
6.3.3 Réseaux de couplage/découplage pour lignes d'interconnexion	100
6.4 Etalonnage des réseaux de couplage/découplage	104
6.4.1 Généralités	104
6.4.2 Etalonnage de RCD pour accès d'alimentation c.a./c.c. de valeur assignée jusqu'à 200 A par ligne	105
6.4.3 Etalonnage des RCD pour les lignes d'interconnexion	105
7 Montage d'essai	108
7.1 Matériel d'essai.....	108
7.2 Vérification des instruments d'essai	108
7.3 Montage d'essai pour les ondes de choc appliquées aux accès d'alimentation de l'EUT	109
7.4 Montage d'essai pour les ondes de choc appliquées aux lignes d'interconnexion non blindées et non symétriques	109
7.5 Montage d'essai pour les ondes de choc appliquées aux lignes d'interconnexion non blindées et symétriques	110
7.6 Montage d'essai pour les ondes de choc appliquées aux lignes blindées	110
8 Procédure d'essai.....	111
8.1 Généralités	111
8.2 Conditions de référence en laboratoire.....	112
8.2.1 Conditions climatiques.....	112
8.2.2 Conditions électromagnétiques.....	112
8.3 Réalisation de l'essai	112
9 Evaluation des résultats d'essai.....	113

10	Rapport d'essai	113
Annexe A (normative) Essai d'onde de choc pour lignes de communications non blindées symétriques extérieures, destinées à interconnecter des systèmes largement dispersés		
		115
A.1	Généralités	115
A.2	Générateur d'ondes combinées 10/700 μ s	115
A.2.1	Caractéristiques du générateur	115
A.2.2	Performances du générateur	116
A.2.3	Etalonnage du générateur	118
A.3	Réseaux de couplage/découplage	118
A.3.1	Généralités	118
A.3.2	Réseaux de couplage/découplage pour les lignes de communications extérieures	119
A.4	Etalonnage des réseaux de couplage/découplage	119
A.5	Montage d'essai pour les ondes de choc appliquées aux lignes de communications non blindées symétriques extérieures	121
Annexe B (informative) Choix des générateurs et des niveaux d'essai		
		122
B.1	Généralités	122
B.2	Classification des environnements	122
B.3	Définition des types d'accès	122
B.4	Types de générateurs et d'ondes de choc	123
B.5	Tableaux	123
Annexe C (informative) Notes explicatives		
		125
C.1	Différentes impédances de source	125
C.2	Application des essais	125
C.2.1	Niveau d'immunité d'un matériel	125
C.2.2	Niveau d'immunité d'un système	125
C.3	Classification de l'installation	126
C.4	Niveau d'immunité minimum des accès raccordés à l'alimentation secteur c.a./c.c.	128
C.5	Niveau d'immunité d'un matériel dont les accès sont raccordés à des lignes d'interconnexion	128
Annexe D (informative) Considérations en vue d'obtenir l'immunité pour les matériels connectés aux réseaux de distribution d'alimentation basse tension		
		129
Annexe E (informative) Modélisation mathématique des formes d'ondes de choc		
		131
E.1	Généralités	131
E.2	Tension d'onde de choc normalisée dans le domaine temporel (1,2/50 μ s)	132
E.3	Courant d'onde de choc normalisé dans le domaine temporel (8/20 μ s)	133
E.4	Tension de choc normalisée dans le domaine temporel (10/700 μ s)	135
E.5	Courant de choc normalisé dans le domaine temporel (5/320 μ s)	137
Annexe F (informative) Considérations relatives à l'incertitude de mesure (MU)		
		140
F.1	Légende	140
F.2	Généralités	140
F.3	Contributeurs à l'incertitude de mesure de l'onde de choc	141
F.4	Incertitude de l'étalonnage de l'onde de choc	141
F.4.1	Généralités	141
F.4.2	Durée du front de la tension de choc en circuit ouvert	141
F.4.3	Crête de tension de choc en circuit ouvert	143

F.4.4	Durée de la tension de choc en circuit ouvert	144
F.4.5	Autres contributeurs à l'incertitude de mesure pour les mesures de temps et d'amplitude	145
F.4.6	Distorsion du temps de montée en raison de la largeur de bande limitée du système de mesure	146
F.4.7	Crête d'impulsion et distorsion de largeur du fait de la largeur de bande limitée du système de mesure	147
F.5	Application des incertitudes au critère de conformité du générateur d'ondes de choc.....	148
Annexe G (informative) Méthode d'étalonnage des systèmes de mesure d'impulsion		149
G.1	Généralités	149
G.2	Estimation de la réponse du système de mesure utilisant l'intégrale de convolution	149
G.3	Système de mesure d'impulsion pour une tension en circuit ouvert (1,2/50 μ s, 10/700 μ s)	150
G.4	Système de mesure d'impulsion pour le courant de court-circuit (8/20 μ s, 5/320 μ s)	151
Annexe H (informative) Ondes de choc de couplage/découplage appliquées à des lignes de valeurs assignées supérieures à 200 A		153
H.1	Généralités	153
H.2	Considérations en matière de couplage et découplage.....	153
H.3	Précautions supplémentaires	154
Bibliographie.....		155
Figure 1 – Schéma de principe simplifié du circuit du générateur d'ondes combinées		91
Figure 2 – Forme d'onde de tension en circuit ouvert (1,2/50 μ s) en sortie du générateur sans RCD connecté		93
Figure 3 – Forme d'onde du courant de court-circuit (8/20 μ s) en sortie du générateur sans RCD connecté		93
Figure 4 – Sélection d'une méthode de couplage/découplage		95
Figure 5 – Exemple de réseau de couplage et de réseau de découplage pour couplage capacitif sur lignes c.a./c.c.: couplage entre phases.....		98
Figure 6 – Exemple de réseau de couplage et de réseau de découplage pour couplage capacitif sur lignes c.a./c.c.: couplage phase-terre		98
Figure 7 – Exemple de réseau de couplage et de réseau de découplage pour couplage capacitif sur lignes c.a. (triphase): couplage entre la phase L2 et la phase L3		99
Figure 8 – Exemple de réseau de couplage et de réseau de découplage pour couplage capacitif sur lignes c.a. (triphase): couplage entre la phase L3 et la terre		100
Figure 9 – Exemple de réseau de couplage et de réseau de découplage pour les lignes d'interconnexion non blindées et non symétriques: couplage entre phases et phase-terre.....		102
Figure 10 – Exemple de réseau de couplage et de découplage pour les lignes d'interconnexion non blindées symétriques; couplage phases-terre		103
Figure 11 – Exemple de réseau de couplage et de découplage pour les lignes d'interconnexion non blindées symétriques: couplage phases-terre par condensateurs.....		104
Figure 12 – Exemple de montage d'essai pour les ondes de choc appliquées aux lignes blindées.....		111
Figure A.1 – Schéma de principe simplifié du circuit du générateur d'ondes combinées (10/700 μ s – 5/320 μ s).....		116
Figure A.2 – Forme d'onde de tension en circuit ouvert (10/700 μ s)		117

Figure A.3 – Forme d'onde de courant de court-circuit 5/320 μ s.....	117
Figure A.4 – Exemple de montage d'essai pour lignes de communications non blindées symétriques extérieures: couplage phases-terre, couplage par parafoudres à gaz (équipés de protection primaire)	119
Figure E.1 – Tension de choc (1,2/50 μ s): réponse dans l'intervalle de temps T_W	132
Figure E.2 – Tension de choc (1,2/50 μ s): réponse de temps de montée T_r	133
Figure E.3 – Tension de choc (1,2/50 μ s): réponse spectrale, $\Delta f = 3,333$ kHz	133
Figure E.4 – Courant de choc (8/20 μ s): réponse dans l'intervalle de temps T_W	134
Figure E.5 – Courant de choc (8/20 μ s): réponse de temps de montée T_r	135
Figure E.6 – Courant de choc (8/20 μ s): réponse spectrale, $\Delta f = 10$ kHz.....	135
Figure E.7 – Tension de choc (10/700 μ s): réponse dans l'intervalle de temps T_W	136
Figure E.8 – Tension de choc (10/700 μ s): réponse de temps de montée T_r	137
Figure E.9 – Tension de choc (10/700 μ s): réponse spectrale, $\Delta f = 0,2$ kHz	137
Figure E.10 – Courant de choc (5/320 μ s): réponse dans l'intervalle de temps T_W	138
Figure E.11 – Courant de choc (5/320 μ s): réponse de temps de montée T_r	139
Figure E.12 – Courant de choc (5/320 μ s): réponse spectrale, $\Delta f = 0,4$ kHz	139
Figure G.1 – Schéma de principe simplifié du circuit du générateur d'échelon de courant	151
Tableau 1 – Niveaux d'essai	90
Tableau 2 – Définitions des paramètres des formes d'ondes 1,2/50 μ s et 8/20 μ s	92
Tableau 3 – Relations entre tension de crête en circuit ouvert et courant de crête de court-circuit.....	92
Tableau 4 – Spécification de la forme d'onde de la tension à l'accès EUT du RCD	96
Tableau 5 – Spécification de la forme d'onde du courant à l'accès EUT du RCD.....	97
Tableau 6 – Relation entre la tension de crête en circuit ouvert et le courant de crête de court-circuit à l'accès EUT du RCD	97
Tableau 7 – Résumé du processus d'étalonnage des RCD pour les lignes d'interconnexion non symétriques	106
Tableau 8 – Spécifications de la forme d'onde de choc à l'accès EUT du RCD pour les lignes d'interconnexion non symétriques.....	106
Tableau 9 – Résumé du processus d'étalonnage des RCD pour les lignes d'interconnexion symétriques.....	107
Tableau 10 – Spécifications de la forme d'onde de choc à l'accès EUT du RCD pour les lignes d'interconnexion symétriques	108
Tableau A.1 – Définitions des paramètres des formes d'onde 10/700 μ s et 5/320 μ s	117
Tableau A.2 – Relations entre tension de crête en circuit ouvert et courant de crête de court-circuit.....	118
Tableau A.3 – Résumé du processus d'étalonnage des RCD pour les lignes de communications non blindées symétriques extérieures	120
Tableau A.4 – Spécifications de la forme d'onde de choc à l'accès EUT du RCD pour les lignes de communications non blindées symétriques extérieures.....	121
Tableau B.1 – Accès d'alimentation: choix des niveaux d'essai (en fonction de la classe de l'installation).....	123
Tableau B.2 – Circuits/lignes: choix des niveaux d'essai (en fonction de la classe de l'installation)	124

Tableau F.1 – Exemple de budget d'incertitude pour la durée du front de la tension de choc en circuit ouvert (T_{fV})	142
Tableau F.2 – Exemple de budget d'incertitude pour la valeur de crête de la tension de choc en circuit ouvert (V_P)	143
Tableau F.3 – Exemple de budget d'incertitude pour la durée de la tension de choc en circuit ouvert (T_d).....	145
Tableau F.4 – Facteur α , Equation (F.5), de différentes réponses impulsionnelles unidirectionnelles correspondant à la même largeur de bande du système B	147
Tableau F.5 – Facteur β , Equation (F.9), des formes d'ondes de choc normalisées.....	148
Tableau H.1 – Valeurs d'inductance recommandées pour les lignes de découplage (> 200 A).....	153

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

**Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure –
Essai d'immunité aux ondes de choc**

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 61000-4-5 a été établie par le sous-comité 77B: Phénomènes haute fréquence, du comité d'études 77 de l'IEC: Compatibilité électromagnétique.

Elle constitue la partie 4-5 de la norme IEC 61000. Elle a le statut de publication fondamentale en CEM en accord avec le Guide 107 de l'IEC.

Cette troisième édition annule et remplace la deuxième édition publiée 2005, et constitue une révision technique.

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

- a) une nouvelle Annexe E sur la modélisation mathématique des formes d'ondes de choc;
- b) une nouvelle Annexe F sur les incertitudes de mesure;

- c) une nouvelle Annexe G sur la méthode d'étalonnage des systèmes de mesure d'impulsion;
- d) une nouvelle Annexe H sur les ondes de choc de couplage/découplage appliquées à des lignes de valeurs assignées supérieures à 200 A;
- e) de plus, alors que l'essai à l'onde de choc sur les accès connectés à des lignes de télécommunication extérieures était traité dans le 6.2 de la deuxième édition (IEC 61000-4-5:2005), dans cette troisième édition (IEC 61000-4-5:2014), l'Annexe normative A est complètement dédiée à ce sujet. En particulier elle donne les spécifications du générateur d'onde combinée 10/700 μ s.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
77B/711/FDIS	77B/715/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 61000, publiées sous le titre général *Compatibilité électromagnétique (CEM)*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

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

INTRODUCTION

L'IEC 61000 est publiée sous forme de plusieurs parties conformément à la structure suivante:

Partie 1: Généralités

Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)

Définitions, terminologie

Partie 2: Environnement

Description de l'environnement

Classification de l'environnement

Niveaux de compatibilité

Partie 3: Limites

Limites d'émission

Limites d'immunité (dans la mesure où elles ne relèvent pas de la responsabilité des comités de produits)

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure

Techniques de mesure

Techniques d'essai

Partie 5: Guide d'installation et d'atténuation

Guide d'installation

Méthodes et dispositifs d'atténuation

Partie 6: Normes génériques

Partie 9: Divers

Chaque partie est à son tour subdivisée en plusieurs parties, publiées soit comme normes internationales soit comme spécifications techniques ou rapports techniques, dont certaines ont déjà été publiées comme sections. D'autres seront publiées avec le numéro de partie, suivi d'un tiret et complété d'un second numéro identifiant la subdivision (exemple: IEC 61000-6-1).

La présente partie constitue une Norme internationale qui traite des exigences en matière d'immunité et des procédures d'essai relatives aux ondes de choc de tension ou aux ondes de choc de courant.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de choc

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de l'IEC 61000 se rapporte aux exigences d'immunité pour les matériels, aux méthodes d'essai et à la gamme des niveaux d'essai recommandés, vis-à-vis des ondes de choc unidirectionnelles provoquées par des surtensions dues aux transitoires de foudre et de manœuvre. Elle définit plusieurs niveaux d'essai se rapportant à différentes conditions d'environnement et d'installation. Ces exigences sont développées pour les matériels électriques et électroniques et leur sont applicables.

Cette norme a pour objet d'établir une référence commune dans le but d'évaluer l'immunité des matériels électriques et électroniques, quand ils sont soumis à des ondes de choc. La méthode d'essai documentée dans la présente partie de l'IEC 61000 décrit une méthode cohérente en vue d'évaluer l'immunité d'un matériel ou d'un système vis-à-vis d'un phénomène défini.

NOTE Comme décrit dans le Guide 107 de l'IEC, il s'agit d'une publication fondamentale en CEM pour utilisation par les comités de produits de l'IEC. Comme indiqué également dans le Guide 107, les comités de produits de l'IEC sont responsables de déterminer si la présente norme d'essai d'immunité est appliquée ou non et, si c'est le cas, ils sont responsables de déterminer les niveaux d'essai et les critères de performance appropriés. Le comité d'études 77 et ses sous-comités sont prêts à coopérer avec les comités de produits à l'évaluation de la valeur des essais d'immunité particuliers pour leurs produits.

La présente norme définit:

- une gamme de niveaux d'essai;
- le matériel d'essai;
- les montages d'essai;
- les procédures d'essai.

L'essai de laboratoire décrit ici a pour but de déterminer la réaction du matériel en essai (EUT¹), dans des conditions opérationnelles spécifiées, aux surtensions dues à la foudre ou à des manœuvres.

Il n'est pas destiné à évaluer la capacité de l'isolation de l'EUT à supporter des tensions élevées. Les injections directes de courants de foudre, par exemple les coups de foudre directs, ne sont pas prises en compte par la présente norme.

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).

¹ EUT = *equipment under test*.

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI)* (disponible sous www.electropedia.org)

3 Termes, définitions et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions de l'IEC 60050 ainsi que les suivants s'appliquent.

3.1.1

dispositif à avalanche

diode, parafoudre à gaz, ou autre composant qui est conçu pour claquer et conduire à une tension spécifiée

3.1.2

étalonnage

ensemble des opérations établissant, en référence à des étalons, la relation qui existe, dans les conditions spécifiées, entre une indication et un résultat de mesure

Note 1 à l'article: Cette définition est conçue dans l'approche «incertitude».

Note 2 à l'article: La relation entre les indications et les résultats de mesures peut être donnée, en principe, dans un diagramme d'étalonnage.

[SOURCE: IEC 60050-311:2001, 311-01-09]

3.1.3

dispositif de clamping

diode, varistance ou autre composant qui est conçu pour empêcher la tension appliquée de dépasser une valeur spécifiée

3.1.4

générateur d'ondes combinées

CWG

générateur avec respectivement une forme d'onde de tension en circuit ouvert de type 1,2/50 μs ou 10/700 μs , et une forme d'onde de courant de court-circuit de type 8/20 μs ou 5/320 μs

Note 1 à l'article: L'abréviation CWG est dérivée du terme anglais développé correspondant "combination wave generator".

3.1.5

réseau de couplage

RC

circuit électrique destiné à transférer de l'énergie d'un circuit à un autre

3.1.6

réseau de couplage/découplage

RCD

combinaison d'un réseau de couplage et d'un réseau de découplage

3.1.7

réseau de découplage

RD

circuit électrique dont le but est d'empêcher les ondes de choc appliquées à l'EUT d'influencer d'autres appareils, matériels ou systèmes qui ne sont pas soumis aux essais

3.1.8 durée

3.1.8.1 durée

T_d

<tension de choc> intervalle de temps compris entre les moments où la tension de choc atteint 0,5 de sa valeur de crête et chute à 0,5 de sa valeur de crête (T_w)

$$T_d = T_w$$

VOIR: Figures 2 et A.2.

3.1.8.2 durée

T_d

<courant de choc pour 8/20 μ s> paramètre conventionnel défini comme l'intervalle de temps compris entre les moments où le courant de choc atteint 0,5 de sa valeur de crête et chute à 0,5 de sa valeur de crête (T_w), multiplié par 1,18

$$T_d = 1,18 \times T_w$$

VOIR: Figure 3.

3.1.8.3 durée

T_d

<courant de choc pour 5/320 μ s> intervalle de temps compris entre les moments où le courant de choc atteint 0,5 de sa valeur de crête et chute à 0,5 de sa valeur de crête (T_w)

$$T_d = T_w$$

VOIR: Figure A.3.

3.1.9 impédance effective de sortie

<générateur d'ondes de choc> rapport de la tension de crête en circuit ouvert au courant de court-circuit de crête au même accès de sortie

3.1.10 installation électrique

ensemble de matériels électriques associés ayant des caractéristiques coordonnées en vue d'une application donnée

[SOURCE: IEC 60050-826:2004, 826-10-01]

3.1.11 durée du front

3.1.11.1 durée du front

T_f

<tension de choc> paramètre conventionnel défini comme 1,67 fois l'intervalle de temps T compris entre les instants où la tension atteint 30 % et 90 % de la valeur de crête

VOIR: Figures 2 et A.2.

3.1.11.2**durée du front** **T_f**

<courant de choc> paramètre conventionnel défini comme 1,25 fois l'intervalle de temps T_r compris entre les instants où le courant atteint 10 % et 90 % de la valeur de crête

VOIR: Figures 3 et A.3.

3.1.12**lignes de communications rapides**

lignes d'entrées/sorties qui fonctionnent à des fréquences de transmission supérieures à 100 kHz

3.1.13**immunité**

aptitude d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système à fonctionner sans dégradation en présence d'une perturbation électromagnétique

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-20]

3.1.14**lignes d'interconnexion**

lignes d'E/S (lignes d'entrées/sorties) et lignes de communications et/ou lignes d'entrées/sorties c.c. basse tension (≤ 60 V), dans le cas où les circuits secondaires (isolés du secteur alternatif) ne sont pas sujet à des surtensions transitoires (c'est-à-dire mis à la terre de manière fiable, circuits secondaires c.c. filtrés capacitivement où l'ondulation crête à crête est inférieure à 10 % de la composante c.c.)

3.1.15**accès d'alimentation**

accès par lequel le conducteur ou le câble transportant l'alimentation primaire nécessaire pour le fonctionnement (en service) d'un appareil ou d'un appareil associé est connecté à l'appareil

3.1.16**protection primaire**

moyens par lesquels la majeure partie de l'énergie perturbatrice est empêchée de se propager au-delà d'une interface désignée

3.1.17**terre de référence**

partie de la Terre considérée comme conductrice, dont le potentiel électrique est pris, par convention, égal à zéro, étant hors de la zone d'influence de toute installation de mise à la terre

[SOURCE: IEC 60050-195:1998, 195-01-01]

3.1.18**temps de montée** **T_r**

durée de l'intervalle de temps entre les instants auxquels la valeur instantanée d'une impulsion atteint pour la première fois une valeur de 10 % puis une valeur de 90 %

VOIR: Figures 3 et A.3.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-02-05, modifiée – le contenu de la note a été inclus dans la définition]

3.1.19

protection secondaire

moyens par lesquels le résidu d'énergie ayant traversé la protection primaire est éliminé

Note 1 à l'article: Ils peuvent être faits d'un dispositif spécial ou constituer une caractéristique inhérente à l'EUT.

3.1.20

onde de choc

onde transitoire de courant, tension ou puissance électrique se propageant le long d'une ligne ou dans un circuit et comportant une montée rapide suivie d'une décroissance plus lente

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-08-11, modifiée – "onde de choc" s'applique ici à la tension, au courant et à la puissance électrique]

3.1.21

lignes symétriques

paire de conducteurs pilotés symétriquement et avec une perte de conversion de mode différentiel à mode commun supérieure à 20 dB

3.1.22

système

ensemble d'éléments reliés entre eux associés pour atteindre un but déterminé au moyen d'un fonctionnement spécifié

Note 1 à l'article: Un système est considéré comme séparé de l'environnement et des autres systèmes extérieurs par une surface imaginaire qui coupe les liaisons entre eux et le système considéré. Par ces liaisons, le système subit les actions de l'environnement ou celles de systèmes extérieurs, ou bien agit lui-même sur l'environnement ou les systèmes extérieurs.

3.1.23

transitoire, adjectif et nom

se dit d'un phénomène ou d'une grandeur qui varie entre deux régimes établis consécutifs dans un intervalle de temps relativement court à l'échelle des temps considérée

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-02-01]

3.1.24

vérification

ensemble des opérations utilisées pour vérifier le système d'essai (par exemple, le générateur d'essai et ses câbles d'interconnexion) et pour démontrer que le système d'essai fonctionne

Note 1 à l'article: Les méthodes utilisées pour la vérification peuvent être différentes de celles utilisées pour l'étalonnage.

Note 2 à l'article: Pour les besoins de la présente norme fondamentale en CEM, cette définition est différente de celle donnée dans l'IEC 60050-311:2001, 311-01-13.

3.2 Abréviations

EA	Équipement auxiliaire (auxiliary equipment)
CD	Dispositif de couplage (coupling device)
RCD	Réseau de couplage/découplage (coupling/decoupling network)
CLD	Dispositif de clamping (clamping device)
RC	Réseau de couplage (coupling network)
CWG	Générateur d'ondes combinées (combination wave generator)
RD	Réseau de découplage (decoupling network)
TER/S	Transitoires électriques rapides en salves (electrical fast transient/burst)

CEM	Compatibilité électromagnétique (electromagnetic compatibility)
DES	Décharge électrostatique (electrostatic discharge)
EUT	Matériel en essai (equipment under test)
GDT	Parafoudre à gaz (gas discharge tube)
MU	Incertitude de mesure (measurement uncertainty)
PE	Terre de protection (protective earth)
SPD	Parafoudre (surge protection device)

4 Généralités

4.1 Transitoires de manœuvre sur les réseaux électriques

Les transitoires de manœuvre sur les réseaux électriques peuvent être séparés en transitoires provenant:

- a) de perturbations résultant de manœuvres sur de grands réseaux électriques, telles que celles produites par la manœuvre de batteries de condensateurs;
- b) d'une activité de manœuvre de moindre importance ou de changements de charge pratiqués dans le réseau de distribution électrique;
- c) de circuits résonants associés à des composants de commutation, par exemple, les thyristors, les transistors;
- d) de divers défauts du réseau, tels que les courts circuits et les amorçages vers le dispositif de mise à la terre de l'installation.

4.2 Transitoires de foudre

Les principaux mécanismes par lesquels la foudre produit des tensions de choc sont les suivants:

- a) un coup de foudre direct sur une ligne extérieure produisant l'injection de courants forts transformés en tensions lors de leur écoulement au travers de la résistance de terre ou au travers de l'impédance présentée par la ligne extérieure;
- b) un coup de foudre indirect (c'est-à-dire une décharge entre les nuages ou en leur sein, ou encore, sur des objets proches qui engendre des champs électromagnétiques) induisant des tensions/courants sur les conducteurs des lignes situées à l'extérieur et/ou à l'intérieur d'un bâtiment;
- c) l'écoulement à la terre d'un courant de foudre résultant de la proximité de décharges directes et se couplant au réseau commun du dispositif de mise à la terre de l'installation.

La variation rapide de la tension et l'écoulement du courant pouvant résulter de l'amorçage d'une protection, sont susceptibles d'influencer les lignes intérieures.

4.3 Simulation des transitoires

Les caractéristiques du générateur d'essai sont définies pour simuler les phénomènes mentionnés ci-dessus aussi fidèlement que possible.

Si la source de perturbation est dans le même circuit que le matériel victime, par exemple dans le réseau d'alimentation (couplage direct), le générateur peut simuler une source à basse impédance aux points d'accès de l'EUT.

Si la source de perturbation n'est pas dans le même circuit que le matériel victime (couplage indirect), alors le générateur peut simuler une source d'impédance plus élevée.

5 Niveaux d'essai

La gamme préférentielle des niveaux d'essai est indiquée dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Niveaux d'essai

Niveau	Tension d'essai en circuit ouvert kV	
	Entre phases	Phase-terre ^b
1	-	0,5
2	0,5	1
3	1	2
4	2	4
X ^a	Spécial	Spécial
^a «X» peut être n'importe quel niveau, au-dessus, en dessous ou entre les autres. Le niveau doit être spécifié dans les spécifications dédiées au matériel. ^b Pour les lignes d'interconnexion symétriques, l'essai peut être appliqué à plusieurs phases en même temps par rapport à la terre, c'est-à-dire "phases-terre".		

Les niveaux d'essai doivent être choisis en fonction des conditions d'installation; les classes d'installation sont données à l'Annexe C.

L'essai doit être appliqué à tous les niveaux d'essai du Tableau 1, jusqu'au niveau d'essai spécifié inclus (voir 8.3).

Pour le choix des niveaux d'essai aux différentes interfaces, se reporter à l'Annexe B.

6 Instrumentation d'essai

6.1 Généralités

Deux types de générateurs d'ondes combinées sont spécifiés. Chacun a ses applications particulières propres, qui dépendent du type d'accès à soumettre à essai. Le générateur d'ondes combinées 10/700 μ s est utilisé pour soumettre à essai des accès prévus pour être connectés à des lignes extérieures de communications symétriques (voir Annexe A). Le générateur d'ondes combinées 1,2/50 μ s est utilisé dans tous les autres cas.

6.2 Générateur d'ondes combinées 1,2/50 μ s

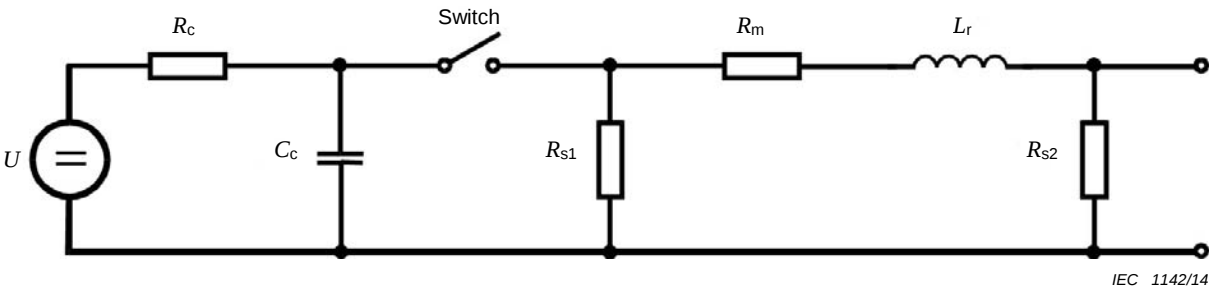
6.2.1 Généralités

Il est prévu pour la présente norme que les formes d'onde de sortie satisfassent aux spécifications au point où elles sont appliquées à l'EUT. Les formes d'onde sont spécifiées en tant que tension en circuit ouvert et courant de court-circuit et par conséquent, doivent être mesurées sans que l'EUT soit connecté. Dans le cas d'un produit alimenté en courant alternatif ou en courant continu et où l'onde de choc est appliquée sur les lignes d'alimentation alternative ou continue, les formes d'ondes à la sortie doivent être telles que spécifiées aux Tableaux 4, 5 et 6. Dans le cas où l'onde de choc est appliquée directement à partir des bornes de sortie du générateur, les formes d'ondes doivent être telles que spécifiées au Tableau 2. Il n'est pas prévu que les formes d'onde satisfassent aux spécifications à la fois en sortie du générateur et en sortie des réseaux de couplage/découplage de manière simultanée, mais uniquement telles qu'appliquées à l'EUT.

Ce générateur est prévu pour générer une onde de choc ayant:

- une durée du front de la tension en circuit ouvert de 1,2 μ s;
- une durée de la tension en circuit ouvert de 50 μ s;
- une durée du front du courant de court-circuit de 8 μ s;
- une durée du courant de court-circuit de 20 μ s.

Un schéma de principe simplifié du circuit du générateur est donné à la Figure 1. Les valeurs des différents composants R_{S1} , R_{S2} , R_m , L_r et C_c sont choisies de façon que le générateur délivre une tension de choc de 1,2/50 μ s (en circuit ouvert) et un courant de choc 8/20 μ s en court-circuit.



Légende

- U Source haute tension
- R_c Résistance de charge
- C_c Condensateur de stockage d'énergie
- R_s Résistances déterminant la durée de l'impulsion
- R_m Résistance d'adaptation d'impédance
- L_r Inductance déterminant le temps de montée

Légende

Anglais	Français
Switch	Commutateur

Figure 1 – Schéma de principe simplifié du circuit du générateur d'ondes combinées

Le rapport de la tension de crête de sortie en circuit ouvert au courant de crête de court-circuit, sur le même accès de sortie d'un générateur d'ondes combinées doit être considéré comme l'impédance effective de sortie. Pour ce générateur, le rapport définit une impédance effective de sortie de 2 Ω .

Quand la sortie du générateur est connectée à l'EUT, la forme d'onde de la tension ou du courant est une fonction de l'impédance d'entrée de l'EUT. Cette impédance peut changer au moment des chocs et résulte, soit du fonctionnement approprié des dispositifs de protection mis en place, soit du contournement ou de l'amorçage d'un composant, quand les dispositifs de protection sont absents ou non opérants. Par conséquent, il convient que les ondes de tension 1,2/50 μ s et de courant 8/20 μ s soient délivrées par la même sortie du générateur aussi rapidement que la charge le nécessite.

6.2.2 Caractéristiques de performance du générateur

- | | |
|-------------------|--|
| Polarité | positive et négative |
| Décalage de phase | dans une gamme de 0° à 360° par rapport à la phase de la tension d'alimentation c.a. au niveau de l'EUT avec une tolérance de $\pm 10^\circ$ |

Fréquence de répétition	une fois par minute ou plus rapide
Tension de sortie de crête en circuit ouvert	ajustable de 0,5 kV au niveau d'essai exigé
Forme d'onde de la tension de choc	voir le Tableau 2 et la Figure 2
Tolérance sur le réglage de la tension de sortie	voir le Tableau 3
Courant de sortie de crête de court-circuit	dépend du réglage de la tension de crête (voir les Tableaux 2 et 3)
Forme d'onde du courant de choc	voir le Tableau 2 et la Figure 3

NOTE Les paramètres de temps sont valides pour le courant de court-circuit en sortie du générateur sans résistance de 10 Ω (voir 6.3).

Tolérance sur le courant de sortie de court-circuit	voir le Tableau 3
---	-------------------

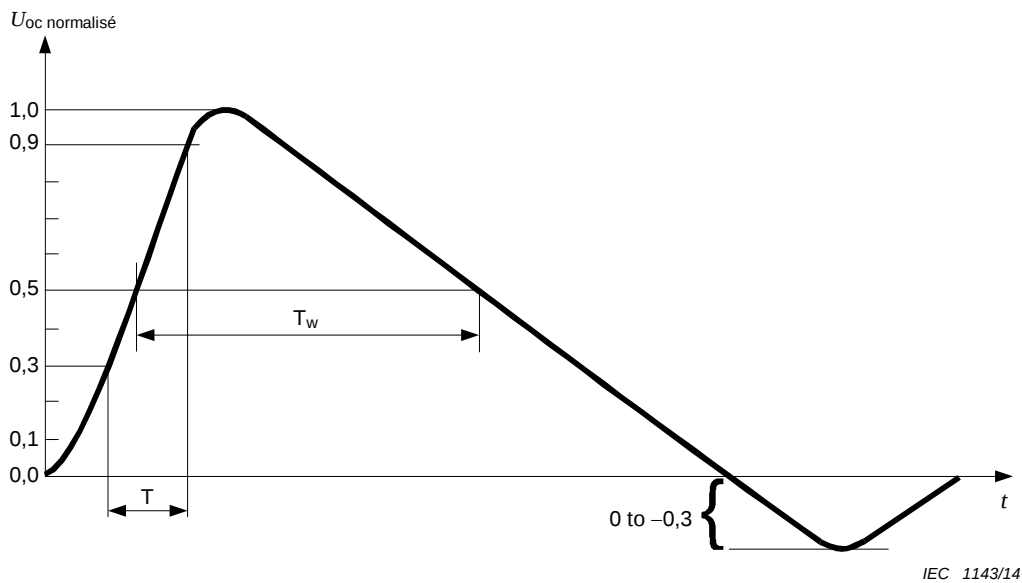
Tableau 2 – Définitions des paramètres des formes d'ondes 1,2/50 µs et 8/20 µs

	Durée du front T_f µs	Durée T_d µs
Tension en circuit ouvert	$T_f = 1,67 \times T = 1,2 \pm 30 \%$	$T_d = T_w = 50 \pm 20 \%$
Courant de court-circuit	$T_f = 1,25 \times T_r = 8 \pm 20 \%$	$T_d = 1,18 \times T_w = 20 \pm 20 \%$

Tableau 3 – Relations entre tension de crête en circuit ouvert et courant de crête de court-circuit

Tension de crête en circuit ouvert ±10 % en sortie du générateur	Courant de crête de court-circuit ±10 % en sortie du générateur
0,5 kV	0,25 kA
1,0 kV	0,5 kA
2,0 kV	1,0 kA
4,0 kV	2,0 kA

On doit utiliser un générateur à sortie flottante.

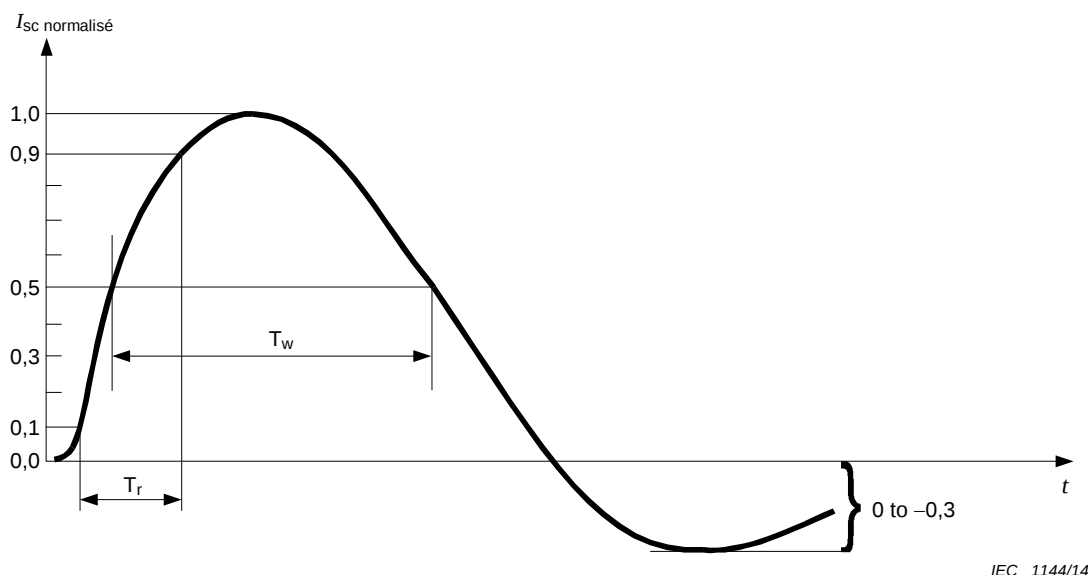


Durée du front: $T_f = 1,67 \times T = 1,2 \mu s \pm 30 \%$
Durée: $T_d = T_w = 50 \mu s \pm 20 \%$

NOTE La valeur 1,67 est la réciproque de la différence entre les seuils de 0,9 et 0,3.

**Figure 2 – Forme d'onde de tension en circuit ouvert (1,2/50 μ s)
en sortie du générateur sans RCD connecté**

La spécification de relaxation ne s'applique qu'à la sortie du générateur. En sortie du réseau de couplage/découplage, il n'y a pas de limitation de dépassement ou de relaxation.



Durée du front: $T_f = 1,25 \times T_r = 8 \mu\text{s} \pm 20 \%$

Durée: $T_d = 1,18 \times T_w = 20 \mu\text{s} \pm 20 \%$

NOTE 1 La valeur 1,25 est la réciproque de la différence entre les seuils de 0,9 et 0,1.

NOTE 2 La valeur 1,18 provient de données empiriques.

**Figure 3 – Forme d'onde du courant de court-circuit (8/20 μ s)
en sortie du générateur sans RCD connecté**

La spécification de relaxation ne s'applique qu'à la sortie du générateur. En sortie du réseau de couplage/découplage, il n'y a pas de limitation de dépassement ou de relaxation.

6.2.3 Etalonnage du générateur

Les caractéristiques du générateur d'essai doivent être étalonnées pour s'assurer qu'elles satisfont aux exigences de la présente norme. A cet effet, la procédure suivante doit être appliquée (voir aussi l'Annexe G).

La sortie du générateur doit être connectée à un système de mesure d'une largeur de bande suffisante, d'une capacité en tension et en courant permettant le contrôle des caractéristiques des formes d'onde. L'Annexe E fournit des informations concernant la largeur de bande des formes d'ondes de choc.

Si un transformateur de courant (sonde) est utilisé pour mesurer le courant de court-circuit, il convient de le choisir de façon à ce qu'il n'y ait pas de saturation du noyau magnétique. Il convient que la fréquence de cassure la plus basse (- 3 dB) de la sonde soit inférieure à 100 Hz.

Les caractéristiques du générateur doivent être mesurées à travers un condensateur externe de 18 μ F en série avec la sortie, à la fois en circuit ouvert (impédance de charge supérieure ou égale à 10 k Ω) et en court-circuit pour la même tension établie. Si le condensateur de 18 μ F est monté dans le générateur, il n'est pas nécessaire de disposer d'un condensateur externe de 18 μ F pour l'étalonnage.

Toutes les caractéristiques de performance indiquées en 6.2.2, à l'exception du décalage de phase, doivent être satisfaites en sortie du générateur. Les performances de décalage de phase doivent être satisfaites en sortie du RCD à 0°, 90°, 180° et 270° à une polarité.

NOTE Quand une résistance additionnelle interne ou externe est ajoutée à la sortie du générateur pour augmenter l'impédance effective de source de 2 Ω à par exemple 12 Ω ou 42 Ω , conformément aux exigences du montage d'essai, la durée du front et la durée des impulsions d'essai en sortie du réseau de couplage peuvent être modifiées de manière significative.

6.3 Réseaux de couplage/découplage

6.3.1 Généralités

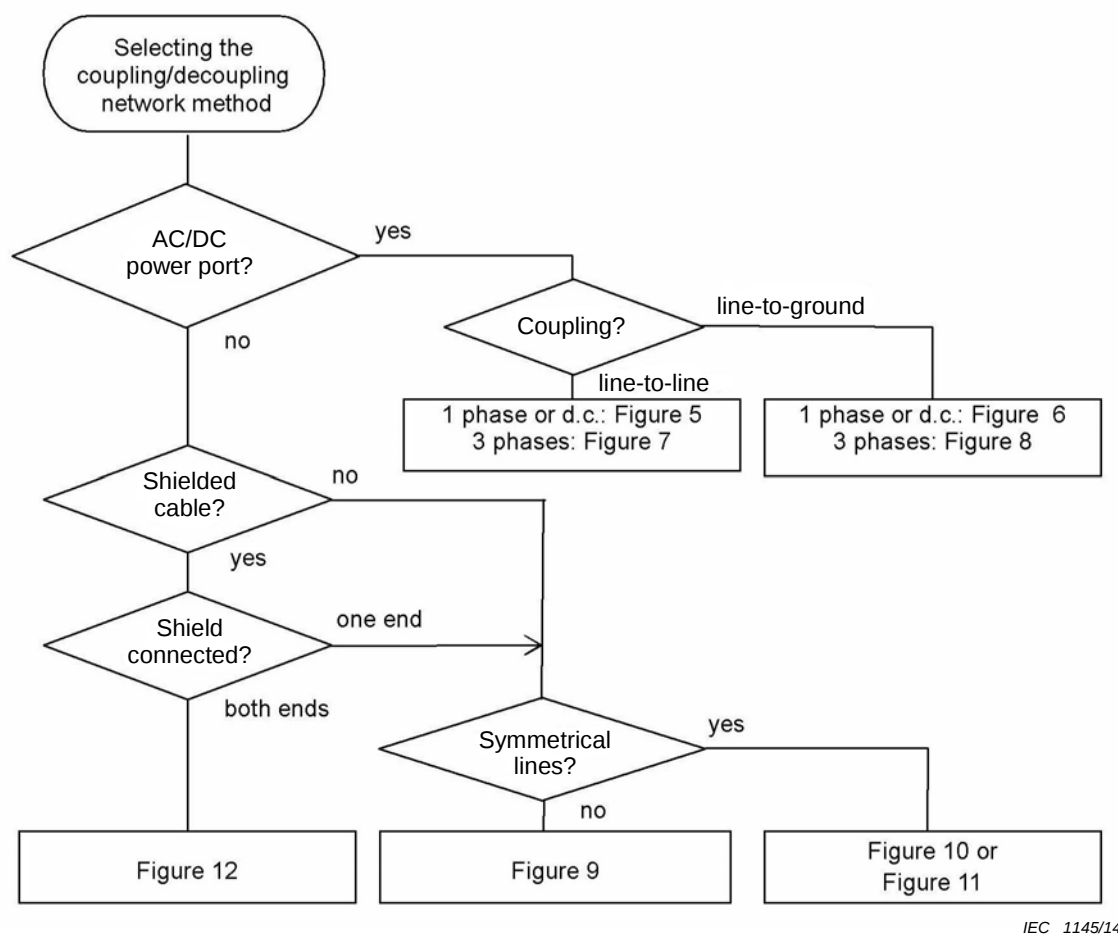
Chaque réseau de couplage/découplage (RCD) consiste en un réseau de couplage et un réseau de découplage, comme le montrent les exemples des Figures 5 à 11.

NOTE Les résistances et/ou condensateurs de couplage peuvent être des éléments du RCD ou du générateur ou des composants externes discrets.

Sur les lignes d'alimentation alternatives ou continues, le réseau de découplage fournit une impédance relativement élevée vis-à-vis de l'onde de choc, mais en même temps, permet au courant d'alimentation de circuler vers l'EUT. Cette impédance permet à la forme d'onde de tension de se développer à la sortie du réseau de couplage/découplage, et empêche le courant de l'onde de choc de circuler vers la source alternative ou continue. Des condensateurs haute tension sont utilisés comme élément de couplage, dimensionnés afin de permettre à la totalité des durées de forme d'onde de se coupler à l'EUT. Le réseau de couplage/découplage pour les lignes d'alimentation alternatives ou continues doit être conçu de sorte que la forme d'onde de tension en circuit ouvert et la forme d'onde de courant de court-circuit satisfassent aux exigences des Tableaux 4, 5 et 6.

Pour les lignes d'entrées/sorties et de communications, l'impédance série du réseau de découplage limite la largeur de bande disponible pour la transmission des données. Les éléments de couplage peuvent être des condensateurs, dans les cas où la ligne tolère les effets de charge capacitive, des dispositifs de clamping ou des parafoudres. Quand elles se couplent aux lignes d'interconnexion, les formes d'onde peuvent être distordues par les mécanismes de couplage tels qu'ils sont décrits en 6.3.3.

Tout réseau de couplage/découplage doit satisfaire aux exigences de 6.3.2 et 6.3.3 et être conforme aux exigences d'étalonnage de 6.4. Leur utilisation est réalisée selon l'organigramme suivant:



Légende

Anglais	Français
Selecting the coupling/decoupling network method	Sélection du mode de réseau de couplage/découplage
AC/DC power port?	Accès d'alimentation c.a./c.c.?
Shielded cable?	Câble blindé?
Shield connected?	Câble connecté?
yes	oui
no	non
one end	une extrémité
both ends	les deux extrémités
Coupling?	Couplage?
1 phase or d.c.: Figure 5 3 phases: Figure 7	1 phase ou c.c.: Figure 5 3 phases: Figure 7
Symmetrical lines?	Lignes symétriques?
line-to-ground	phase-terre
line-to-line	entre phases

Figure 4 – Sélection d'une méthode de couplage/découplage

6.3.2 Réseaux de couplage/découplage pour accès d'alimentation en c.a./c.c. de valeur assignée jusqu'à 200 A par ligne

L'amplitude de la valeur de crête, la durée du front et la durée de l'impulsion doivent être vérifiées pour la tension en circuit ouvert et pour le courant en court-circuit à l'accès de sortie EUT. Les paramètres de forme d'onde mesurés à l'accès EUT du RCD dépendent de la source du générateur et sont donc valables uniquement pour la combinaison générateur/RCD soumise à essai. La spécification de relaxation de 30 % s'applique uniquement à la sortie du générateur. A la sortie du réseau de couplage/découplage, il n'y a pas de limitation de relaxation. Le RCD doit être connecté à un système de mesure d'une largeur de bande suffisante, d'une capacité en tension et en courant permettant le contrôle des caractéristiques des formes d'ondes.

L'inductance de découplage doit être sélectionnée par le constructeur de RCD de sorte qu'au niveau du RCD, la chute de tension doit être inférieure à 10 % de la tension d'entrée du RCD à la valeur assignée du courant spécifié, mais tout en ne dépassant pas 1,5 mH.

Afin d'empêcher des chutes de tension non désirées dans le RCD, la valeur de l'élément de découplage doit être réduite pour des RCD de valeur assignée > 16 A. Par conséquent, la tension de crête et la durée de la forme d'onde de la tension en circuit ouvert mesurées sans charge peuvent varier dans le cadre des tolérances spécifiées dans les Tableaux 4, 5 et 6 ci-après. Les EUT à courant élevé représentent des impédances plus faibles et provoquent des ondes de choc proches des conditions de court-circuit. Par conséquent la forme d'onde de courant est prédominante pour les RCD à courant élevé. De larges tolérances sont acceptables pour la définition de la tension.

Tableau 4 – Spécification de la forme d'onde de la tension à l'accès EUT du RCD

Paramètres de la tension d'onde de choc en conditions de circuit ouvert ^{a,b}	Impédance de couplage	
	18 µF (entre phases)	9 µF + 10 Ω (phase-terre)
Tension de crête		
Valeur assignée du courant ≤ 16 A	Tension établie +10 %/-10 %	Tension établie +10 %/-10 %
16 A < valeur assignée du courant ≤ 32 A	Tension établie +10 %/-10 %	Tension établie +10 %/-10 %
32 A < valeur assignée du courant ≤ 63 A	Tension établie +10 %/-10 %	Tension établie +10 %/-15 %
63 A < valeur assignée du courant ≤ 125 A	Tension établie +10 %/-10 %	Tension établie +10 %/- 20 %
125 A < valeur assignée du courant ≤ 200 A	Tension établie +10 %/-10 %	Tension établie +10 %/- 25 %
Durée du front	1,2 µs ± 30 %	1,2 µs ± 30 %
Durée		
Valeur assignée du courant ≤ 16 A	50 µs +10 µs/-10 µs	50 µs +10 µs/-25 µs
16 A < valeur assignée du courant ≤ 32 A	50 µs +10 µs/-15 µs	50 µs +10 µs/-30 µs
32 A < valeur assignée du courant ≤ 63 A	50 µs +10 µs/-20 µs	50 µs +10 µs/-35 µs
63 A < valeur assignée du courant ≤ 125 A	50 µs +10 µs/-25 µs	50 µs +10 µs/-40 µs
125 A < valeur assignée du courant ≤ 200 A	50 µs +10 µs/-30 µs	50 µs +10 µs/-45 µs
NOTE La valeur assignée du courant dans le Tableau 4 est celle du RCD.		
^a La mesure des paramètres de la tension d'onde de choc doit être effectuée, l'accès d'alimentation c.a./c.c. sur le réseau de couplage/découplage étant en circuit ouvert. ^b Les valeurs de ce tableau sont pour un CWG ayant des valeurs idéales. Si le CWG génère des valeurs de paramètres proches des tolérances, les tolérances additionnelles du RCD peuvent générer des valeurs hors tolérance de la combinaison CWG-CDN.		

Tableau 5 – Spécification de la forme d'onde du courant à l'accès EUT du RCD

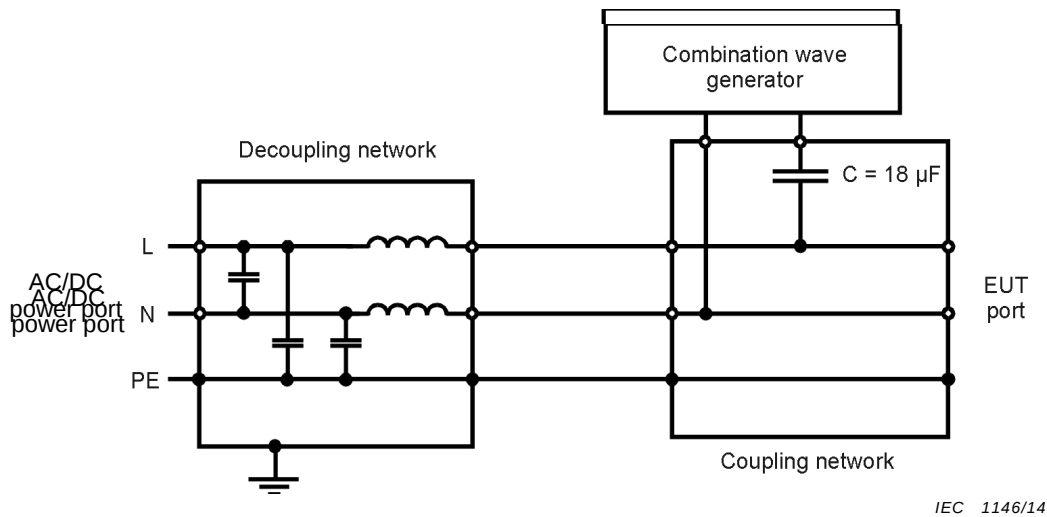
Paramètres du courant d'onde de choc en conditions de court-circuit ^a	Impédance de couplage	
	18 µF (entre phases)	9 µF + 10 Ω ^b (phase-terre)
Durée du front	$T_f = 1,25 \times T_r = 8 \mu s \pm 20 \%$	$T_f = 1,25 \times T_r = 2,5 \mu s \pm 30 \%$
Durée	$T_d = 1,18 \times T_w = 20 \mu s \pm 20 \%$	$T_d = 1,04 \times T_w = 25 \mu s \pm 30 \%$
^a La mesure des paramètres du courant d'onde de choc doit être effectuée, l'accès d'alimentation c.a./c.c. sur le RCD étant en circuit ouvert.		
^b La valeur 1,04 est dérivée de données empiriques.		

Tableau 6 – Relation entre la tension de crête en circuit ouvert et le courant de crête de court-circuit à l'accès EUT du RCD

Tension de crête en circuit ouvert ± 10 % à l'accès EUT du RCD	Courant crête de court-circuit ± 10 % à l'accès EUT du RCD (18 µF)	Courant crête de court-circuit ± 10 % A l'accès EUT du RCD (9 µF + 10 Ω)
0,5 kV	0,25 kA	41,7 A
1,0 kV	0,5 kA	83,3 A
2,0 kV	1,0 kA	166,7 A
4,0 kV	2,0 kA	333,3 A

Voir l'Annexe H pour les EUT ayant un courant assigné d'entrée supérieur à 200 A par ligne.

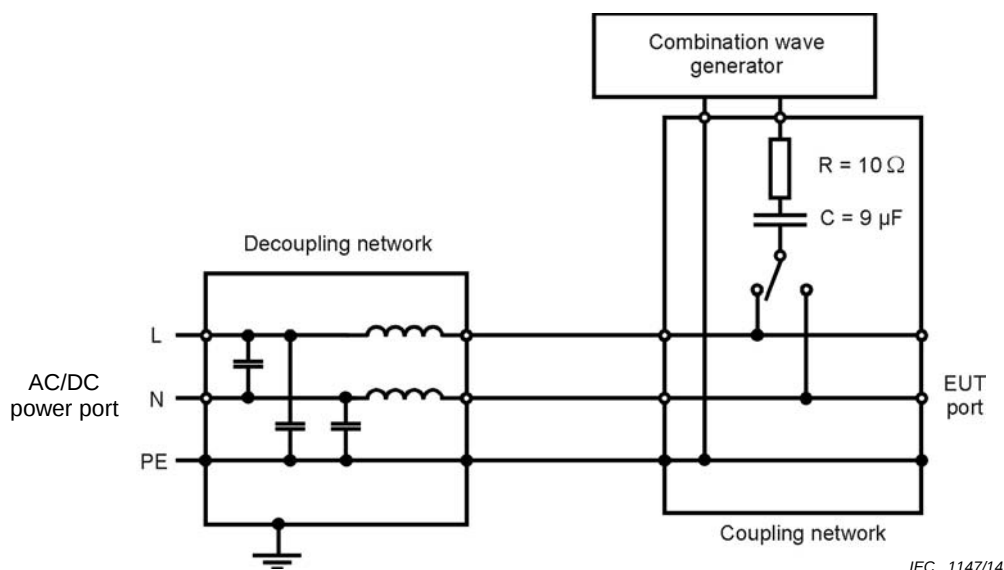
Les caractéristiques mentionnées ci-dessus sont valables pour les réseaux monophasés (phase, neutre, terre de protection) et pour les réseaux triphasés (trois phases, neutre et terre de protection).



Légende

Anglais	Français
Decoupling network	Réseau de découplage
a.c./d.c. power port	Accès d'alimentation c.a./c.c.
Combination wave generator	Générateur d'ondes combinées
Coupling network	Réseau de couplage
EUT port	Accès EUT

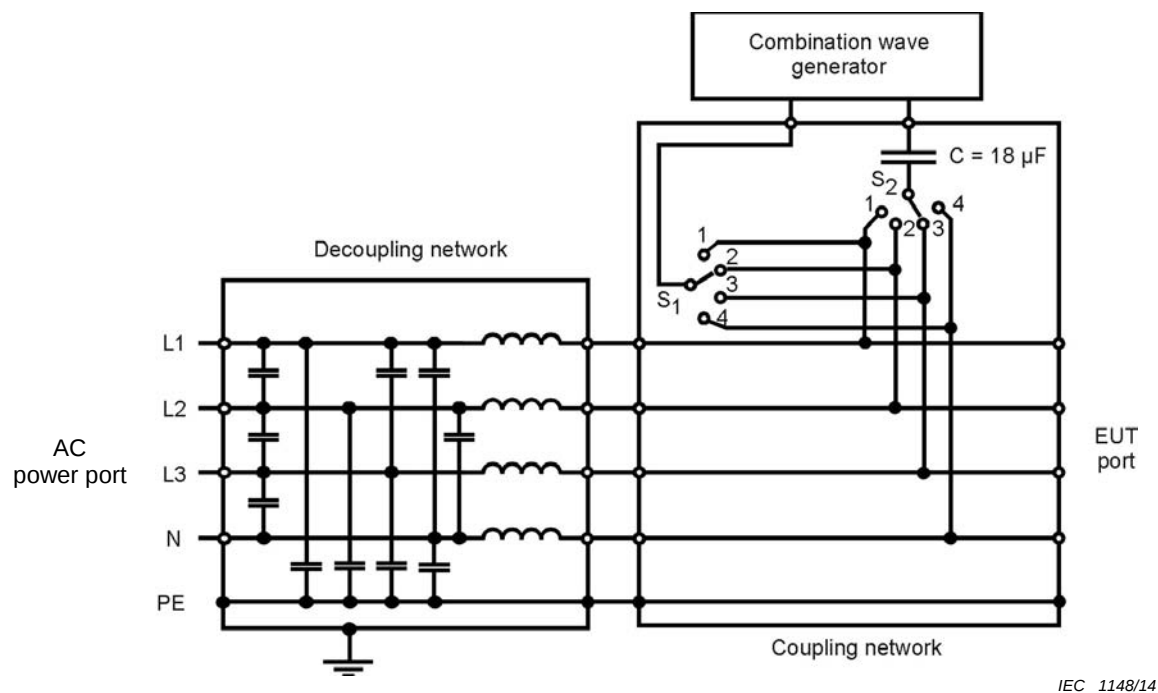
Figure 5 – Exemple de réseau de couplage et de réseau de découplage pour couplage capacitif sur lignes c.a./c.c.: couplage entre phases



Légende

Anglais	Français
Decoupling network	Réseau de découplage
a.c./d.c. power port	Accès d'alimentation c.a./c.c.
Combination wave generator	Générateur d'ondes combinées
Coupling network	Réseau de couplage
EUT port	Accès EUT

Figure 6 – Exemple de réseau de couplage et de réseau de découplage pour couplage capacitif sur lignes c.a./c.c.: couplage phase-terre



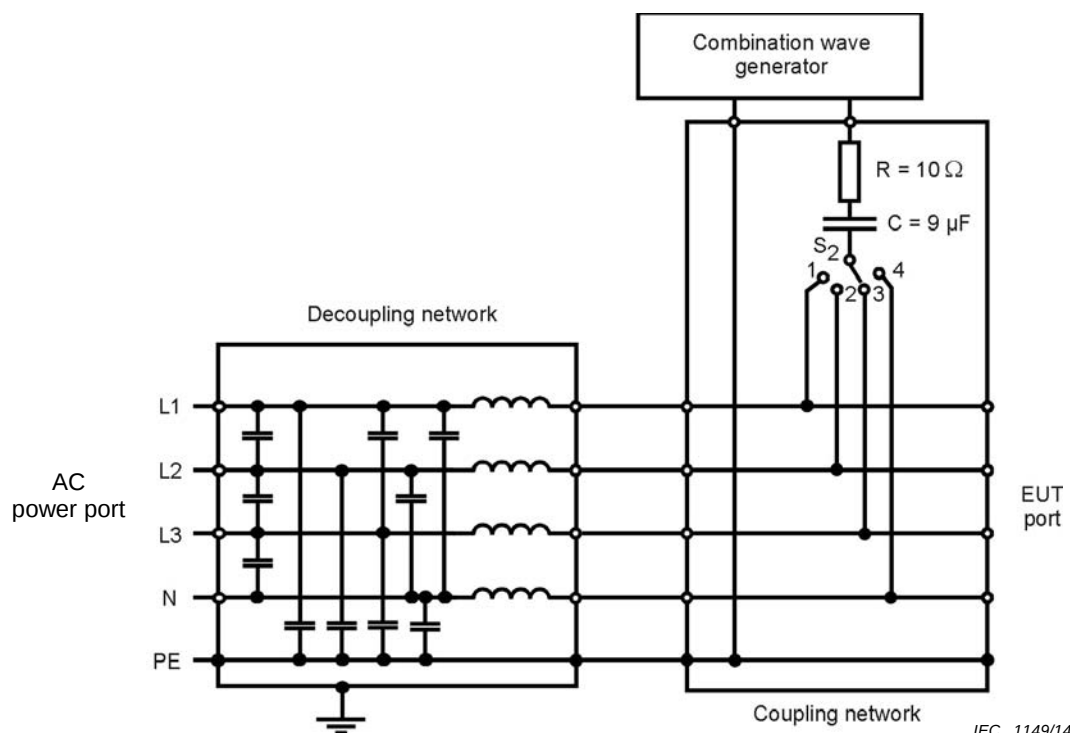
Les commutateurs S_1 et S_2 sont utilisés afin de sélectionner individuellement les lignes pour l'essai.

Pendant l'essai, la position du commutateur S_2 est différente de celle du commutateur S_1 .

Légende

Anglais	Français
Decoupling network	Réseau de découplage
AC power port	Accès d'alimentation c.a.
Combination wave generator	Générateur d'ondes combinées
Coupling network	Réseau de couplage
EUT port	Accès EUT

Figure 7 – Exemple de réseau de couplage et de réseau de découplage pour couplage capacitif sur lignes c.a. (triphasé): couplage entre la phase L2 et la phase L3



Le commutateur S_2 est utilisé afin de sélectionner individuellement les lignes pour l'essai.

Légende

Anglais	Français
Decoupling network	Réseau de découplage
AC power port	Accès d'alimentation c.a.
Combination wave generator	Générateur d'ondes combinées
Coupling network	Réseau de couplage
EUT port	Accès EUT

Figure 8 – Exemple de réseau de couplage et de réseau de découplage pour couplage capacitif sur lignes c.a. (triphase): couplage entre la phase L3 et la terre

6.3.3 Réseaux de couplage/découplage pour lignes d'interconnexion

6.3.3.1 Généralités

Le 6.3.3 décrit le RCD pour tous les types de lignes d'interconnexion, à l'exception des lignes de communications symétriques extérieures non blindées destinées à interconnecter des systèmes largement dispersés, qui sont décrits dans l'Annexe A.

La méthode de couplage doit être choisie en fonction des types de câble d'interconnexion, des circuits et des conditions opérationnelles traités dans la spécification/norme de produit.

Le couplage des lignes non blindées nécessite des dispositifs de couplage (CD) pour assurer une isolation suffisante entre les lignes d'interconnexion et le générateur d'ondes de choc, tout en permettant un transfert efficace de l'impulsion d'onde de choc.

Tout CD, comme un condensateur, un parafoudre à gaz (GDT), capable de remplir les fonctions de couplage et d'isolation peut être utilisé.

Un couplage utilisant des condensateurs maintient l'intégrité de la forme d'onde, mais peut avoir des effets de filtre sur le transfert rapide de données.

Les dispositifs à avalanche comme les GDT ont une faible capacité parasite et permettent la connexion à la plupart des types de lignes d'interconnexion. La tension de claquage du dispositif de couplage doit être sélectionnée de façon à être la plus faible possible tout en étant supérieure à la tension de travail maximum des lignes à soumettre à essai.

Tous les RCD doivent satisfaire aux exigences d'étalonnage spécifiées en 6.4.

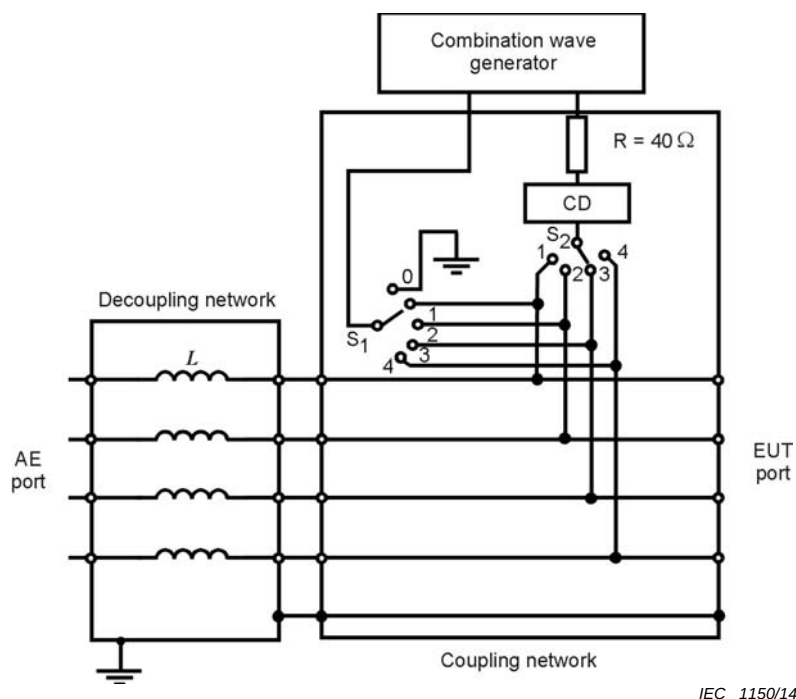
Des inductances compensées en courant doivent être utilisées dans le réseau de découplage si les lignes de signaux sont symétriques.

La performance de découplage exigée du côté de l'EA dépend de la spécification d'application et détermine la valeur des éléments de découplage (inductances, résistances, condensateurs, GDT, dispositifs de clamping, etc.) à utiliser. Afin de s'assurer de la meilleure performance de découplage et de la meilleure protection de l'EA possibles, une analyse spécifique de cas est nécessaire pour choisir les éléments de découplage.

6.3.3.2 Ondes de choc de couplage/découplage sur des lignes d'interconnexion non blindées et non symétriques

Le couplage à des lignes d'interconnexion non blindées et non symétriques peut être effectué à la fois entre phases et entre phase et terre. Le découplage est réalisé grâce à une bobine d'inductance de découplage par ligne.

La Figure 9 présente un exemple de réseau de couplage/découplage pour les lignes d'interconnexion non blindées et non symétriques.



IEC 1150/14

- 1) Commutateur S_1
 - entre phase et terre: position 0
 - entre phases: positions 1 à 4
- 2) Commutateur S_2 : Positions 1 à 4
 - pendant l'essai, la position du commutateur S_2 est différente de celle du commutateur S_1

NOTE CD: voir Tableau 8.

Légende

Anglais	Français
Combination wave generator	Générateur d'ondes combinées
AE port	Accès EA
EUT port	Accès EUT
Decoupling network	Réseau de découplage
Coupling network	Réseau de couplage

Figure 9 – Exemple de réseau de couplage et de réseau de découplage pour les lignes d'interconnexion non blindées et non symétriques: couplage entre phases et phase-terre

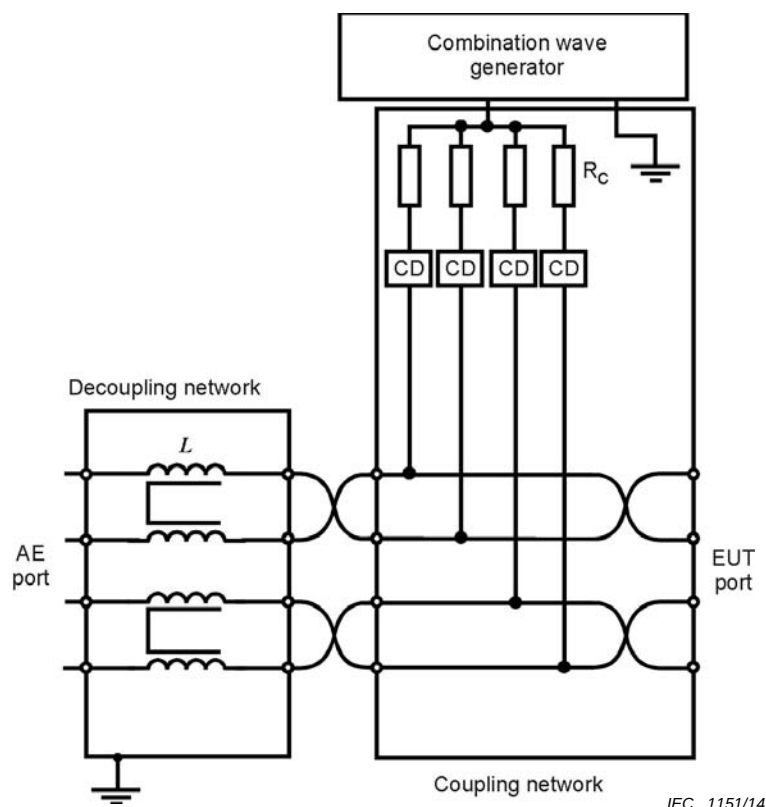
6.3.3.3 Réseaux de couplage/découplage pour ondes de choc appliquées à des lignes d'interconnexion non blindées et non symétriques

En raison de la nature caractéristique du câblage non blindé, le couplage à des lignes d'interconnexion symétriques (paire torsadée) est toujours réalisé en mode commun, c'est à dire entre toutes les lignes et la terre.

Le transfert d'énergie du générateur d'ondes de choc à l'EUT est considéré comme une constante, qui est indépendante du nombre de lignes du câble, équivalent à une impédance de couplage d'environ 40 Ω . Cette impédance de couplage équivalente est divisée entre les lignes du câble. Pour cette raison, la valeur de résistance de couplage utilisée sur chacune des lignes d'une paire est un multiple de 40 Ω . Cette règle s'applique aux câbles comportant jusqu'à 8 lignes/4 paires. Le RCD doit être sélectionné pour correspondre au nombre de lignes/paires existant dans le câble. Toutefois, pour les câbles comportant plus de 8 lignes/4 paires, les paires doivent être divisées et reliées via plusieurs RCD comportant 8 lignes/4 paires, utilisant des valeurs de résistance de couplage identiques à celles utilisées pour soumettre à essai des câbles comportant 8 lignes/4 paires.

Les bobines d'inductance en mode commun sont utilisées pour le découplage, ce qui permet un transfert de données rapide et garantit un découplage en mode commun efficace.

La Figure 10 présente un exemple de réseau de couplage/découplage pour les lignes d'interconnexion symétriques non blindées.



Calcul des valeurs de résistance de couplage R_c :

Exemple pour $n = 4$:

$$R_c = 4 \times 40 \, \Omega = 160 \, \Omega$$

Les valeurs de résistance de couplage sont sélectionnées de sorte que leur résistance en parallèle soit équivalente à $40 \, \Omega$. Un essai sur un accès à quatre lignes, par exemple, nécessite quatre résistances de $160 \, \Omega$ chacune.

L , avec compensation en courant, peut inclure les 4 bobines ou seulement des paires (comme le montre la Figure 10) pour être efficace

NOTE CD: voir Tableau 10.

Légende

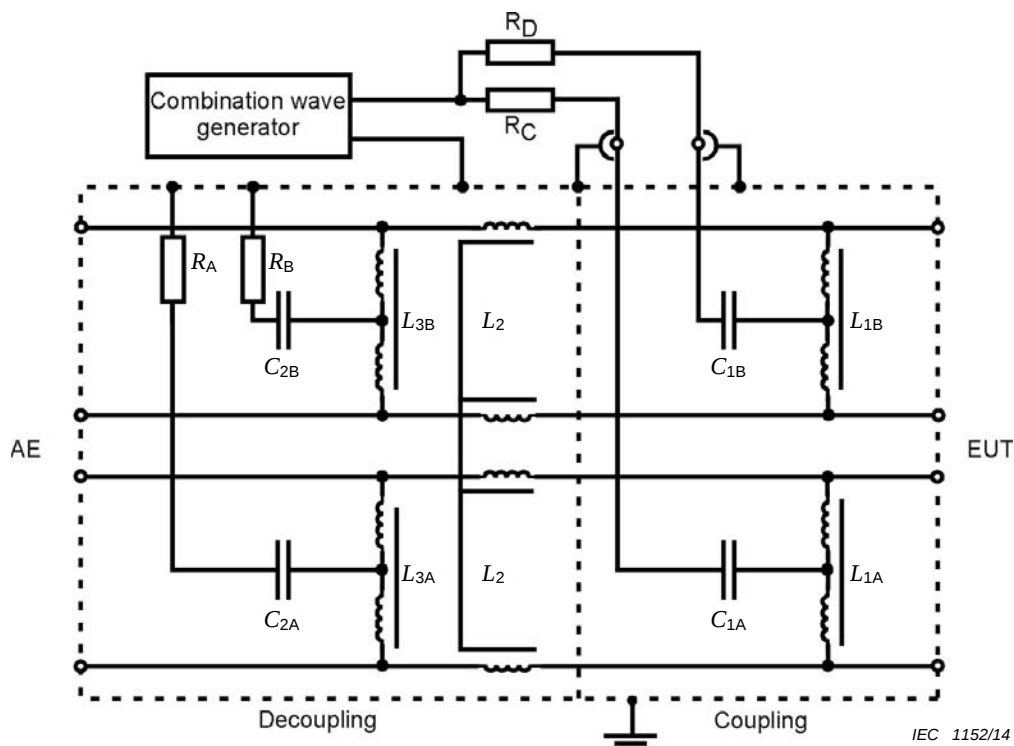
Anglais	Français
Combination wave generator	Générateur d'ondes combinées
AE port	Accès EA
EUT port	Accès EUT
Decoupling network	Réseau de découplage
Coupling network	Réseau de couplage

Figure 10 – Exemple de réseau de couplage et de découplage pour les lignes d'interconnexion non blindées symétriques; couplage phases-terre

Pour des lignes d'interconnexion rapides, les exemples donnés à la Figure 10 et à la Figure 11 peuvent être utilisés.

Afin d'éviter que les condensateurs de couplage et de découplage aient un effet de filtrage sur le transfert de données, une conception à haute fréquence équilibrée associant les condensateurs de couplage et des bobines d'inductance de couplage est nécessaire.

La Figure 11 donne un exemple de réseau de couplage et de découplage pour des lignes d'interconnexion symétriques permettant de réaliser des essais à une vitesse d'interconnexion maximale de 1 000 Mbit/s.



Calcul des valeurs de résistance et de condensateurs de couplage:

R_C et R_D : Les valeurs de résistance de couplage sont sélectionnées de sorte que leur résistance en parallèle soit équivalente à 40Ω . Ainsi, un essai sur un accès à deux paires par exemple nécessite deux résistances de 80Ω chacune. Un essai sur un accès à quatre paires nécessite quatre résistances de 160Ω chacune.

R_A , R_B , C_1 , C_2 , L_1 , L_2 , L_3 : Tous les composants sont sélectionnés de sorte que les paramètres d'impulsion spécifiés soient satisfaits.

Légende

Anglais	Français
Combination wave generator	Générateur d'ondes combinées
AE	EA – équipement auxiliaire
EUT	EUT – matériel en essai
Decoupling	Découplage
Coupling	Couplage

Figure 11 – Exemple de réseau de couplage et de découplage pour les lignes d'interconnexion non blindées symétriques: couplage phases-terre par condensateurs

Si on ne peut obtenir de fonctionnement normal en raison de l'impact du RCD sur l'EUT, il convient que les comités de produits spécifient l'opération appropriée ou qu'aucun essai d'immunité à l'onde de choc ne soit exigée.

6.4 Etalonnage des réseaux de couplage/découplage

6.4.1 Généralités

Afin de comparer les résultats des essais de différents RCD, le RCD doit être étalonné régulièrement. A cette fin, la procédure suivante est nécessaire pour mesurer les caractéristiques les plus essentielles du RCD. Les paramètres de la forme d'onde mesurée à l'accès EUT du RCD dépendent de la source du générateur et sont donc valides uniquement pour la combinaison particulière générateur/RCD soumise à essai.

L'équipement de mesure utilisé pour l'étalonnage du RCD doit satisfaire aux exigences applicables à l'étalonnage du générateur (voir 6.2.3).

6.4.2 Etalonnage de RCD pour accès d'alimentation c.a./c.c. de valeur assignée jusqu'à 200 A par ligne

Les caractéristiques du RCD doivent être mesurées dans des conditions de circuit ouvert (charge supérieure ou égale à 10 k Ω) et de court-circuit (inférieure à 0,1 Ω) avec la même tension établie.

Le résidu de la tension de choc, mesuré entre les lignes soumises à l'onde de choc et la terre au niveau de l'accès d'alimentation c.a./c.c. du réseau de découplage quand l'EUT et l'alimentation secteur sont déconnectés, ne doit pas excéder 15 % de la tension d'essai maximale appliquée ou deux fois la valeur de la tension de crête assignée du RCD, selon la valeur la plus élevée.

La tension de choc non désirée mesurée entre les lignes non soumises à l'onde de choc et la terre, l'EUT et l'alimentation secteur étant déconnectés, ne doit pas excéder 15 % de la tension d'essai maximale appliquée (circuit ouvert).

NOTE En raison de la structure du réseau de couplage/découplage, une partie significative de la tension d'essai peut s'apparenter à une tension entre phases pendant le couplage phase-terre. Cette tension peut être supérieure au niveau d'essai entre phases correspondant en cas d'impédance élevée de l'EUT (voir 7.3. pour plus d'informations).

Toutes les caractéristiques de performance établies en 6.3.2 Tableaux 4, 5 et 6 doivent être satisfaites à la sortie du RCD avec l'accès de puissance c.a./c.c. en circuit ouvert.

6.4.3 Etalonnage des RCD pour les lignes d'interconnexion

6.4.3.1 Généralités

Il est recommandé et suffisant d'étalonner les RCD pour les lignes d'interconnexion dans la même configuration (installation des mêmes éléments de couplage et de découplage) que celle utilisée pour les essais.

Le résidu de la tension de choc mesuré entre les lignes soumises à l'onde de choc et la terre du côté de l'EA du RCD, quand l'EUT et l'EA sont déconnectés, doit être mesuré et enregistré de sorte que les utilisateurs du RCD puissent déterminer si la protection est suffisante pour utilisation avec un EA particulier.

6.4.3.2 Etalonnage des RCD pour les lignes d'interconnexion non symétriques

Les mesures doivent être réalisées quand l'impulsion est appliquée à un trajet de couplage à la fois.

L'amplitude de crête, la durée du front et la durée d'impulsion doivent être mesurées pour les valeurs assignées de la tension et du courant d'impulsion du RCD à l'accès de sortie de l'EUT, conformément au Tableau 7.

Les entrées du RD du côté de l'EA doivent être court-circuitées à la PE pour mesurer la tension et le courant d'impulsion à l'accès de sortie de l'EUT.

La valeur du résidu de la tension dépend des exigences de protection de l'EA. Il n'y a donc pas de limites données dans la présente norme.

Tableau 7 – Résumé du processus d'étalonnage des RCD pour les lignes d'interconnexion non symétriques

	Couplage	Mesure	Côté de l'EA	Côté de l'EUT
Tension de choc du côté de l'EUT	Ligne unique à PE	Ligne unique Tension de crête, durée du front, durée	Toutes les lignes court-circuitées à la PE	Circuit ouvert
Courant de choc du côté de l'EUT	Ligne unique à PE	Ligne unique Courant de crête, durée du front, durée	Toutes les lignes court-circuitées à la PE	Court-circuit
Tension de choc du côté de l'EUT	Ligne unique à ligne	Ligne unique Tension de crête, durée du front, durée	Toutes les lignes court-circuitées à la PE	Circuit ouvert
Courant de choc du côté de l'EUT	Ligne unique à ligne	Ligne unique Courant de crête, durée du front, durée	Toutes les lignes court-circuitées à la PE	Court-circuit
Résidu de tension du côté de l'EA (comportant des éléments de protection)	Ligne unique à PE	Phase à PE à la fois Tension de crête	Circuit ouvert	Circuit ouvert

Ce processus d'étalonnage a pour but de vérifier le fonctionnement correct des composants, la saturation des bobines d'inductance de découplage, l'effet de découplage de la partie RD, la capacité en courant et l'effet de couplage de la partie RC. La méthode de couplage décrite dans les alinéas ci-dessus influe sur les formes d'ondes de la tension et du courant. Les paramètres pour l'étalonnage sont définis dans le Tableau 8.

Tableau 8 – Spécifications de la forme d'onde de choc à l'accès EUT du RCD pour les lignes d'interconnexion non symétriques

Méthode de couplage	Tension de sortie du CWG _{a,b,c}	Tension en circuit ouvert à la sortie EUT du RCD ± 10 %	Tension durée du front T_f $T_f = 1,67 \times T_r$ ± 30 %	Tension durée T_d $T_d = T_w$ ± 30 %	I_{sc} à la sortie EUT du RCD ± 20 %	Courant durée du front T_f $T_f = 1,25 \times T_r$ ± 30 %	Courant durée T_d $T_d = 1,18 \times T_w$ ± 30 %
Phase à PE R = 40 Ω CD = 0,5 μF	4 kV	4 kV	1,2 μs	38 μs	87 A	1,3 μs	13 μs
Phase à PE R = 40 Ω CD = GDT	4 kV	4 kV	1,2 μs	42 μs	95 A	1,5 μs	48 μs
Entre phases R = 40 Ω CD = 0,5 μF	4 kV	4 kV	1,2 μs	42 μs	87 A	1,3 μs	13 μs
Entre phases R = 40 Ω CD = GDT	4 kV	4 kV	1,2 μs	47 μs	95 A	1,5 μs	48 μs

^a Il est recommandé d'étalonner le RCD à la valeur assignée de la tension d'impulsion la plus élevée, afin de réduire au minimum les effets du bruit de manœuvre générés par les CLD et les GDT. La valeur présentée dans le tableau correspond à un réglage du générateur à 4 kV. Si la valeur assignée du RCD correspond à une tension d'impulsion maximale différente, l'étalonnage doit être réalisé à cette valeur assignée de la tension d'impulsion maximale. La spécification du courant de crête de court-circuit doit être adaptée en conséquence. Par exemple, si la tension maximale est de 1 kV, la valeur du courant de court-circuit présentée dans ce tableau doit être multipliée par ¼.

^b Le couplage via des parafoudres à gaz, des dispositifs de clamping ou à avalanche présente un bruit de manœuvre sur la forme d'onde d'impulsion. Appliquer la tension d'impulsion la plus élevée possible réduit au minimum leur impact sur les mesures; il est donc recommandé de ne pas tenir compte du bruit de manœuvre pour les mesures des durées du front et des valeurs de durée.

^c Les valeurs présentées dans ce tableau s'appliquent à un CWG ayant des valeurs idéales. Si le CWG génère des valeurs de paramètres proches des tolérances, les tolérances supplémentaires du RCD peuvent générer des valeurs hors des tolérances applicables à la combinaison CWG-RCD.

6.4.3.3 Etalonnage des RCD pour les lignes d'interconnexion symétriques

Les mesures d'étalonnage doivent être réalisées selon les indications du Tableau 9, à la valeur assignée de la tension d'impulsion du RCD. L'amplitude de crête, la durée du front et la durée doivent être mesurées à l'accès de sortie de l'EUT, conformément au Tableau 9.

Les entrées du RD au niveau de l'équipement auxiliaire (EA) doivent être court-circuitées à la PE pour mesurer la tension et le courant à l'accès de sortie de l'EUT.

La valeur du résidu de la tension dépend des exigences de protection de l'EA. Par conséquent la présente norme n'indique aucune limite.

Il est recommandé que la tension en circuit ouvert entre fils de paires différentes soit également mesurée. Une tension différentielle entre paires peut produire de fausses défaillances dans des EUT, qui sont conçus pour fonctionner dans des réseaux équilibrés à haute impédance. Aucune limite n'a été proposée pour cette valeur du fait que la tolérance est dépendante de la conception de l'EUT.

Tableau 9 – Résumé du processus d'étalonnage des RCD pour les lignes d'interconnexion symétriques

	Couplage	Mesure	Côté de l'EA	Côté de l'EUT
Tension de choc du côté de l'EUT	Mode commun – toutes les phases à la PE Trajet 40 Ω ^a	Toutes les lignes court-circuitées ensemble Tension de crête, durée du front, durée	Toutes les lignes court-circuitées à la PE	Circuit ouvert – toutes les lignes connectées ensemble
Courant de choc du côté de l'EUT	Mode commun – toutes les phases à la PE Trajet 40 Ω ^a	Toutes les lignes court-circuitées ensemble Courant de crête, durée du front, durée	Toutes les lignes court-circuitées à la PE	Toutes les lignes court-circuitées à la PE
Résidu de la tension du côté de l'EA (comportant des éléments de protection)	Mode commun – toutes les phases à la PE Trajet 40 Ω ^a	Chacune des phases à la PE à la fois Tension de crête	Circuit ouvert	Circuit ouvert
^a Un trajet 40 Ω signifie que l'impédance de transfert est toujours de 40 Ω , ce qui signifie que pour le couplage de 1 paire, 80 Ω par ligne ou 40 Ω par paire sont utilisés, pour le couplage de 2 paires, 160 Ω par ligne ou 80 Ω par paire sont utilisés, pour le couplage à 4 paires, 320 Ω par ligne ou 160 Ω par paire sont utilisés.				

Ce processus d'étalonnage a pour but de vérifier le fonctionnement correct des composants, la saturation des bobines d'inductance de découplage, l'effet de découplage de la partie RD, la capacité en courant et l'effet de couplage de la partie RC. La méthode de couplage décrite dans les alinéas ci-dessus influe sur les formes d'ondes de la tension et du courant. Les paramètres pour l'étalonnage sont définis dans le Tableau 10.

Tableau 10 – Spécifications de la forme d'onde de choc à l'accès EUT du RCD pour les lignes d'interconnexion symétriques

Méthode de couplage	Tension de sortie du CWG ^{a, b c}	Tension en circuit ouvert à la sortie EUT du RCD ± 10 %	Tension Durée du front T_f $T_f = 1,67 \times T_r$ ± 30 %	Tension Durée T_d $T_d = T_w$ ± 30 %	I_{sc} à la sortie EUT du RCD ± 20 %	Courant Durée du front T_f $T_f = 1,25 \times T_r$ ± 30 %	Courant Durée T_d $T_d = 1,18 \times T_w$ ± 30 %
Mode commun CD ^d , trajet 40 Ω	2 kV	2 kV	1,2 μs	45 μs	48 A	1,5 μs	45 μs

- ^a Il est recommandé d'étalonner le RCD à la valeur assignée de la tension d'impulsion la plus élevée, afin de réduire au minimum les effets du bruit de manœuvre généré par les CLD et les GDT. La valeur présentée dans le tableau correspond à un réglage du générateur à 4 kV. Si la valeur assignée du RCD correspond à une tension d'impulsion maximale différente, l'étalonnage doit être réalisé à cette valeur assignée de la tension d'impulsion maximale. La spécification du courant de crête de court-circuit doit être adaptée en conséquence. Par exemple, si la tension maximale est de 1 kV, la valeur du courant de court-circuit présentée dans ce tableau doit être multipliée par 2.
- ^b Le couplage via des parafoudres à gaz, des dispositifs de clamping ou à avalanche présente un bruit de manœuvre sur la forme d'onde d'impulsion. Appliquer la tension d'impulsion la plus élevée possible réduit au minimum leur impact sur les mesures; il est donc recommandé de ne pas tenir compte du bruit de manœuvre pour les mesures des valeurs de crête.
- ^c Les valeurs présentées dans ce tableau s'appliquent à un CWG ayant des valeurs idéales. Si le CWG génère des valeurs de paramètres proches des tolérances, les tolérances supplémentaires du RCD peuvent générer des valeurs hors des tolérances applicables à la combinaison CWG-RCD.
- ^d Le dispositif de couplage (CD) peut être basé sur des condensateurs, des parafoudres à gaz, des dispositifs de clamping, des dispositifs à avalanche ou toute méthode qui permet que les données désirées de l'EUT fonctionnent correctement et satisfassent en même temps aux paramètres de forme d'onde d'impulsion de ce tableau.

7 Montage d'essai

7.1 Matériel d'essai

Les matériels suivants font partie du montage d'essai:

- matériel en essai (EUT);
- équipement auxiliaire (EA) si requis;
- câbles (du type et de la longueur spécifiés);
- réseaux de couplage/découplage (RCD);
- générateur d'ondes combinées (CWG);
- plan de masse de référence pour les essais sur des lignes blindées selon 7.6.2 ci-après et la Figure 12.

NOTE Si nécessaire, le montage d'essai utilisant un plan de masse de référence comme défini dans l'IEC 61000-4-4 peut être utilisé.

7.2 Vérification des instruments d'essai

La vérification a pour but de s'assurer que le montage d'essai fonctionne correctement. Le montage d'essai comprend:

- le générateur d'ondes combinées;
- le RCD;
- les câbles d'interconnexion du matériel d'essai.

Afin de vérifier que le système fonctionne correctement, il convient de vérifier le signal suivant:

- l'impulsion de choc est présente à la borne de sortie du RCD.

Il suffit de vérifier que l'onde de choc est présente à tout niveau en utilisant un appareil de mesure approprié (par exemple, un oscilloscope) sans que l'EUT soit connecté au système.

NOTE Les laboratoires d'essai peuvent définir une valeur de référence de contrôle interne attribuée à cette procédure de vérification.

7.3 Montage d'essai pour les ondes de choc appliquées aux accès d'alimentation de l'EUT

L'onde de choc 1,2/50 s doit être appliquée aux bornes de l'alimentation de l'EUT par le réseau de couplage capacitif (voir les Figures 5, 6, 7 et 8). L'usage de réseaux de découplage est nécessaire pour éviter que d'éventuels effets indésirables ne se produisent sur le matériel non soumis à l'essai, mais qui peut être alimenté par les mêmes lignes, et pour présenter une impédance de découplage suffisante, de façon que l'onde de choc spécifiée puisse se propager sur les lignes soumises à l'essai.

La spécification du RCD sélectionnée à partir du Tableau 4 doit être adaptée à la valeur assignée de courant de l'EUT (par exemple: un EUT d'une valeur assignée de 5 A doit être soumis à essai avec un RCD conforme aux spécifications d'un RCD d'une valeur assignée de 16 A). Tout RCD d'une valeur assignée de courant supérieure peut être utilisé s'il satisfait aux exigences de spécifications du Tableau 4 en ce qui concerne les valeurs assignées de courant inférieures de l'EUT (par exemple, un RCD d'une valeur assignée de 64 A peut être utilisé pour les essais d'un EUT d'une valeur assignée de 5 A, s'il satisfait aux exigences de spécifications d'un RCD d'une valeur assignée de 16 A).

Sauf spécification contraire, le câble d'alimentation reliant l'EUT au réseau de couplage ne doit pas avoir une longueur supérieure à 2 m.

Pour les besoins de détermination des spécifications dans le cadre de la présente norme, les accès d'alimentation ont été considérés comme les accès qui sont directement connectés soit à l'alimentation secteur c.a. soit à l'alimentation secteur c.c. (réseau de distribution).

NOTE Les comités de produits peuvent décider que les accès d'alimentation non connectés aux réseaux de distribution sont à soumettre à essai conformément à la présente norme, en utilisant un RCD défini en 6.3.2 ou 6.3.3.

L'essai de choc d'alimentation secteur continue est appliqué entre les phases (par exemple 0 V à -48 V) et entre chacune des phases à la fois et la terre (par exemple 0 V à la terre et -48 V à la terre).

Aucun choc phase-terre n'est appliqué sur les produits à double isolation (c'est-à-dire les produits sans borne de terre dédiée).

Les comités de produits peuvent décider que l'essai de choc phase-terre soit appliqué à des produits à double isolation comportant des connexions à la terre autres que la PE.

7.4 Montage d'essai pour les ondes de choc appliquées aux lignes d'interconnexion non blindées et non symétriques

Le RCD ne doit pas avoir d'influence sur la fonctionnalité spécifiée des circuits à soumettre à essai.

La Figure 9 présente un exemple de réseau de couplage.

Sauf spécification contraire, la ligne d'interconnexion reliant l'EUT au réseau de couplage ne doit pas avoir une longueur supérieure à 2 m.

Aucun choc phase-terre n'est appliqué sur les produits à double isolation (c'est-à-dire les produits sans borne de terre dédiée).

7.5 Montage d'essai pour les ondes de choc appliquées aux lignes d'interconnexion non blindées et symétriques

Des exemples de réseaux de couplage pour des lignes d'interconnexion symétriques sont donnés dans les Figures 10 et 11.

NOTE Si des parafoudres de couplage sont utilisés, des niveaux d'essai inférieurs au point d'amorçage du parafoudre de couplage (environ 300 V pour un parafoudre à gaz de 90 V) ne peuvent pas être spécifiés.

Sauf spécification contraire, la ligne d'interconnexion reliant l'EUT au réseau de couplage ne doit pas avoir une longueur supérieure à 2 m.

Pour les essais d'onde de choc sur les lignes d'interconnexion rapides, aucun essai d'onde de choc ne doit être appliqué si on ne peut obtenir un fonctionnement normal en raison de l'impact du RCD sur l'EUT.

7.6 Montage d'essai pour les ondes de choc appliquées aux lignes blindées

L'EUT est isolé de la terre et l'onde de choc est appliquée à son enveloppe métallique; la charge (ou l'équipement auxiliaire) du ou des accès en essai est mise à la terre. Cet essai est applicable aux matériels munis d'un ou de plusieurs câbles blindés (voir Figure 12).

NOTE 1 Le plan de masse de référence mentionné à la Figure 12 représente une référence de faible impédance. Un câble dédié ou une plaque métallique peut être utilisé.

Toutes les connexions à l'EUT autres que celles de l'accès en essai doivent être isolées de la terre par des moyens appropriés tels que des transformateurs d'isolement ou un réseau de découplage adapté.

La longueur du câble entre l'accès en essai et le dispositif fixé à l'autre extrémité du câble (EA à la Figure 12) doit être:

- 20 m (longueur de préférence) ou,
- la longueur la plus courte supérieure à 10 m, si le constructeur fournit des câbles préassemblés utilisés dans les installations réelles.

Aucun essai ne doit être exigé pour les câbles ≤ 10 m selon la spécification du constructeur.

Le câble reliant l'EUT et l'EA doit être disposé en un faisceau non inductif ou enroulé en bobine bifilaire, et il doit être placé sur un support isolé.

Règles d'application de l'onde de choc aux lignes blindées:

a) Blindages mis à la terre aux deux extrémités:

- l'essai doit être réalisé selon la représentation de la Figure 12.

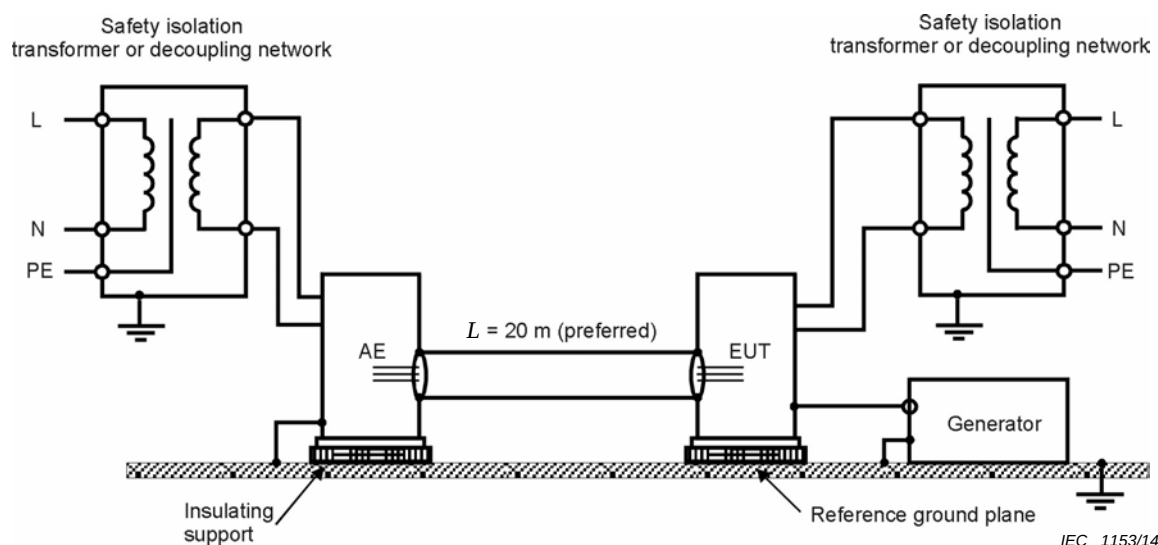
Le niveau d'essai est appliqué aux blindages avec un générateur de 2Ω d'impédance et le condensateur de $18 \mu\text{F}$ (voir 6.2.3).

b) Blindages mis à la terre à une seule extrémité:

- l'essai doit être réalisé selon 7.4 ou 7.5 (voir Figure 4), dans la mesure où le blindage ne fournit pas de protection contre les ondes de choc induites par les champs magnétiques.

NOTE 2 Dans ce cas, l'essai d'onde de choc n'est pas appliqué au blindage.

Pour les EUT n'ayant pas d'enveloppe métallique, l'onde de choc est directement appliquée au blindage du câble du côté de l'EUT.



Légende

Anglais	Français
Safety isolation transformer or decoupling network	Transformateur d'isolement de sécurité ou réseau de découplage
EUT	EUT (matériel en essai)
$L = 20\text{ m}$ (preferred)	$L = 20\text{ m}$ (de préférence)
Reference ground plane	Plan de masse de référence
Insulating support	Support d'isolement
Generator	Générateur
AE	EA

Il est permis d'alimenter l'EUT et/ou l'EA via un réseau de découplage, plutôt que par l'intermédiaire du transformateur d'isolement montré. Dans ce cas, il convient de ne pas connecter la terre de protection de l'EUT au réseau de découplage.

Il convient d'alimenter l'EUT et/ou l'EA alimenté en C.C. via les réseaux de découplage.

S'il est nécessaire d'isoler l'EA de l'onde de choc, la connexion à la terre du câble en essai du côté de l'EA peut être réalisée en se connectant directement au blindage du connecteur plutôt qu'au châssis de l'EA. Si une plus grande isolation est nécessaire et si le câble peut être étendu sans compromettre l'intégrité du blindage (par exemple, en utilisant un connecteur coaxial cylindrique ou un coupleur Ethernet blindé), la connexion à la terre peut être réalisée sur le blindage du coupleur d'extension. Dans ce cas, la longueur du câble est mesurée entre l'EUT et le coupleur et non entre l'EUT et l'EA. La longueur du câble entre le coupleur et l'EA n'est pas déterminante.

Figure 12 – Exemple de montage d'essai pour les ondes de choc appliquées aux lignes blindées

8 Procédure d'essai

8.1 Généralités

La procédure d'essai comprend:

- la vérification des instruments d'essai, selon 7.2;
- l'établissement des conditions de référence en laboratoire;
- la confirmation du fonctionnement correct de l'EUT;
- la réalisation de l'essai;
- l'évaluation des résultats de l'essai (voir Article 9).

8.2 Conditions de référence en laboratoire

8.2.1 Conditions climatiques

Sauf spécification contraire dans des normes génériques, de famille de produits ou de produits, les conditions climatiques dans le laboratoire doivent être dans les limites spécifiées pour le fonctionnement de l'EUT et des matériels d'essai par leurs constructeurs respectifs.

Les essais ne doivent pas être réalisés si l'humidité relative est telle qu'elle cause une condensation sur l'EUT ou sur les matériels d'essai.

8.2.2 Conditions électromagnétiques

Les conditions électromagnétiques du laboratoire doivent permettre de garantir le fonctionnement correct de l'EUT de façon à ne pas avoir d'influence sur les résultats de l'essai.

8.3 Réalisation de l'essai

La vérification doit être effectuée, de préférence avant l'essai (voir 7.2).

L'essai doit être réalisé conformément à un plan d'essai qui doit comporter une description du montage d'essai comprenant:

- le niveau d'essai;
- le nombre d'ondes de choc (pour chaque trajet de couplage):
 - le nombre d'impulsions d'ondes de choc sauf spécification contraire dans la norme de produit appropriée:
 - i) pour les accès de puissance c.c. et les lignes d'interconnexion, cinq impulsions d'ondes de choc positives et cinq négatives;
 - ii) pour les accès de puissance c.a., cinq impulsions d'ondes de choc positives et cinq négatives à 0°, 90°, 180° et 270°;
- le temps entre impulsions successives: 1 min ou moins;
- les conditions de fonctionnement représentatives de l'EUT;
- les accès de l'EUT à soumettre à essai.

Les accès de puissance (c.a. ou c.c.) peuvent être des entrées ou des sorties.

Les ondes de choc sur les sorties sont recommandées pour les applications où les ondes de choc sont susceptibles de pénétrer dans l'EUT via ces sorties (par exemple, commutation de charges avec grande consommation de puissance).

Lors de l'essai de systèmes triphasés, la synchronisation des angles de phase doit être entreprise depuis la même ligne en essai, par exemple, en appliquant des impulsions de choc entre L2 et L3, la synchronisation des angles de phase doit être la tension entre L2 et L3.

Aucune synchronisation n'est appliquée en cas d'absence de tension d'alimentation secteur entre les phases couplées, par exemple, entre N et PE dans des réseaux de distribution d'énergie TN-S. Dans ce cas, cinq impulsions positives et cinq impulsions négatives doivent être appliquées.

Les ondes de choc sur les entrées/sorties c.c. basse tension (≤ 60 V) ne sont pas appliquées quand les circuits secondaires (isolés du secteur alternatif) ne sont pas sujets à des surtensions transitoires (c'est-à-dire mis à la terre de manière fiable, circuits secondaires c.c. filtrés de manière capacitive où l'ondulation crête à crête est inférieure à 10 % de la composante c.c.).

NOTE 1 Dans le cas de plusieurs circuits identiques, des essais représentatifs effectués sur un nombre prédéterminé de circuits peuvent s'avérer suffisants.

Si l'essai effectué à des fréquences supérieures à 1 par minute est la cause de défaillances alors que celui effectué à une fréquence de 1 par minute ne l'est pas, ce dernier prévaut.

NOTE 2 Les comités de produits peuvent sélectionner différents angles de phase et soit augmenter, soit réduire le nombre d'ondes de choc par phase si c'est approprié pour leurs produits.

NOTE 3 La plupart des dispositifs de protection d'utilisation courante ont une capacité de dissipation en puissance moyenne limitée, bien que leurs capacités de dissipation en puissance crête ou en énergie crête leur permette de supporter de forts courants. De ce fait, le temps entre deux ondes de choc dépend des dispositifs de protection intégrés dans l'EUT.

NOTE 4 De plus amples informations sur la façon de conduire les essais sont données en C.2.

Pour les essais entre phase et terre, les phases sont soumises à essai individuellement et de manière successive, sauf spécification contraire.

La procédure d'essai doit également prendre en compte les caractéristiques de non linéarité courant-tension du matériel en essai. Tous les niveaux d'essai inférieurs (voir Tableau 1) ainsi que le niveau d'essai retenu doivent donc être soumis à essai.

9 Evaluation des résultats d'essai

Les résultats d'essai doivent être classés en tenant compte de la perte de fonction ou de la dégradation du fonctionnement du matériel en essai, par rapport à un niveau de fonctionnement défini par son constructeur ou par le demandeur de l'essai, ou en accord entre le constructeur et l'acheteur du produit. La classification recommandée est comme suit:

- a) fonctionnement normal dans les limites spécifiées par le constructeur, le demandeur de l'essai ou l'acheteur;
- b) perte temporaire de fonction ou dégradation temporaire du fonctionnement cessant après la disparition de la perturbation; le matériel en essai retrouve alors son fonctionnement normal sans l'intervention d'un opérateur;
- c) perte temporaire de fonction ou dégradation temporaire du fonctionnement nécessitant l'intervention d'un opérateur;
- d) perte de fonction ou dégradation du fonctionnement non récupérable, due à une avarie du matériel ou du logiciel, ou à une perte de données.

La spécification du constructeur peut définir des effets sur l'EUT qui peuvent être considérés comme non significatifs et donc acceptables.

Cette classification peut être utilisée comme un guide pour l'élaboration des critères d'aptitude à la fonction, par les comités responsables pour les normes génériques, de produit ou de famille de produits, ou comme un cadre pour l'accord sur les critères d'aptitude à la fonction entre le constructeur et l'acheteur, par exemple lorsque aucune norme générique, de produit ou de famille de produits appropriée n'existe.

Le matériel ne doit pas devenir dangereux ou non sûr à la suite de la réalisation des essais.

10 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir toutes les informations nécessaires pour reproduire l'essai. En particulier, ce qui suit doit être noté:

- les points spécifiés dans le plan d'essai requis à l'Article 8 de la présente norme;
- l'identification de l'EUT et de tous les matériels associés, par exemple marque, type, numéro de série;

- l'identification des matériels d'essai, par exemple marque, type, numéro de série;
- toutes les conditions d'environnement spéciales dans lesquelles l'essai a été réalisé, par exemple en enceinte blindée;
- toutes les conditions spécifiques nécessaires pour permettre la réalisation de l'essai;
- schémas et/ou photographies du montage d'essai et de l'installation de l'EUT;
- le niveau de fonctionnement défini par le constructeur, le demandeur de l'essai ou l'acheteur;
- le critère d'aptitude à la fonction spécifié dans la norme générique, de produit ou de famille de produits;
- tous les effets observés sur l'EUT pendant ou après l'application de la perturbation, et la durée pendant laquelle ces effets ont persisté;
- tous les types de câbles soumis à essai, y compris leur longueur, et l'accès d'interface de l'EUT auquel ils étaient connectés;
- la justification de la décision succès/échec (basée sur le critère d'aptitude à la fonction spécifié dans la norme générique, de produit ou de famille de produits, ou dans l'accord entre le constructeur et l'acheteur);
- toutes les conditions spécifiques d'utilisation, par exemple longueur ou type de câble, blindage ou raccordement à la terre, ou les conditions de fonctionnement de l'EUT, qui sont requises pour assurer la conformité.
- la configuration d'essai (matériel) y compris la méthode de couplage utilisée;
- la configuration d'essai (logiciel).

Annexe A (normative)

Essai d'onde de choc pour lignes de communications non blindées symétriques extérieures, destinées à interconnecter des systèmes largement dispersés

A.1 Généralités

Lors de l'essai de lignes de communications symétriques destinées à être connectées directement à des réseaux de télécommunications extérieurs (par exemple, réseaux téléphoniques publics commutés (RTPC)), la forme d'onde $1,2/50 \mu\text{s} - 8/20 \mu\text{s}$ peut ne pas être appropriée. Les réseaux de télécommunications extérieurs ont en général des longueurs de câble supérieures à 300 m, et peuvent être longs de plusieurs kilomètres. En raison de la nature de ces réseaux, la forme d'onde $10/700 \mu\text{s} - 5/320 \mu\text{s}$ est plus représentative des ondes de choc rencontrées sur le terrain. L'Annexe A définit les méthodes d'essai et les caractéristiques du générateur pour les essais utilisant le générateur $10/700 \mu\text{s} - 5/320 \mu\text{s}$.

Les réseaux extérieurs de longue distance utilisent en général une forme de protection primaire aux endroits où les câbles pénètrent dans les bâtiments ou les enceintes. Afin d'assurer le fonctionnement correct de l'accès en essai, les performances de cette protection primaire nécessitent d'être pris en compte. Il convient de réaliser les essais avec la protection primaire prévue, de sorte que la coordination entre la protection primaire et toute protection secondaire au sein de l'EUT puisse être vérifiée. Lorsque les caractéristiques exactes de la protection primaire ne peuvent être contrôlées, les comités de produits peuvent définir différents niveaux d'essai à évaluer avec et sans installation de la protection primaire. On peut trouver de plus amples informations sur ce phénomène dans le document UIT-T K.44.

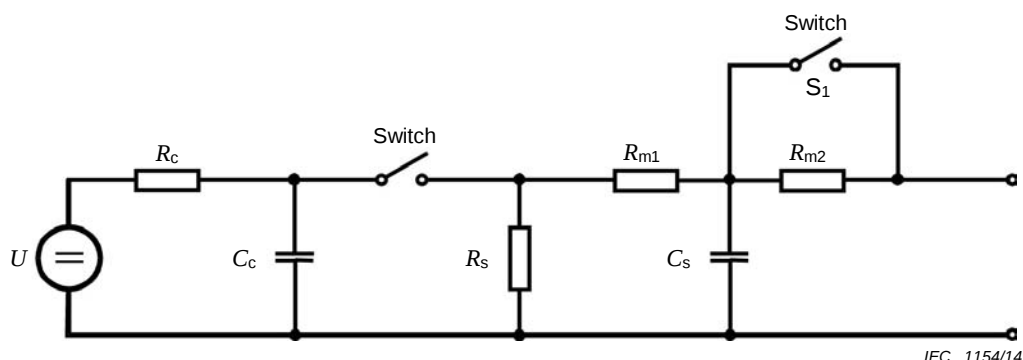
A.2 Générateur d'ondes combinées 10/700 μs

A.2.1 Caractéristiques du générateur

Ce générateur est destiné à générer une onde de choc ayant les caractéristiques suivantes:

- une durée du front de la tension en circuit ouvert de $10 \mu\text{s}$;
- une durée de la tension en circuit ouvert de $700 \mu\text{s}$;
- une durée du front du courant de court-circuit de $5 \mu\text{s}$;
- une durée du courant de court-circuit de $320 \mu\text{s}$.

Le schéma de principe simplifié du générateur est donné à la Figure A.1. Les valeurs des différents composants sont sélectionnées de sorte que le générateur délivre l'onde de choc définie ci-dessus.



Légende

U	Source haute tension
R_c	Résistance de charge
C_c	Condensateur de stockage d'énergie
R_s	Résistances déterminant la durée de l'impulsion
R_m	Résistance d'adaptation d'impédance
C_s	Condensateur déterminant la durée du front
S_1	Commutateur fermé quand les résistances d'adaptation externes sont utilisées

Légende

Anglais	Français
Switch	Commutateur

Figure A.1 – Schéma de principe simplifié du circuit du générateur d'ondes combinées (10/700 μ s – 5/320 μ s)

Le rapport de la tension de crête de sortie en circuit ouvert au courant de crête de court-circuit du générateur d'ondes combinées doit être considéré comme l'impédance effective de sortie. Pour ce générateur, le rapport définit une impédance effective de sortie de 40 Ω .

A.2.2 Performances du générateur

Polarité	positive et négative
Fréquence de répétition	une fois par minute ou plus rapide
Tension de sortie de crête en circuit ouvert	ajustable de 0,5 kV au niveau d'essai exigé
Forme d'onde de la tension de choc	voir Tableau A.1 et Figure A.2
Tolérance sur la tension de sortie	voir Tableau A.2
Courant de sortie de crête de court-circuit	dépend du réglage de la tension de crête (voir Tableaux A.1 et A.2)
Tolérance sur le courant de sortie de court-circuit	voir Tableau A.2

NOTE L'impédance effective de sortie consiste typiquement en des résistances internes de 15 Ω (R_{m1}) et 25 Ω (R_{m2}). Les résistances R_{m2} peuvent être omises, mises en parallèle ou court-circuitées et remplacées par des résistances de couplage externes quand elles sont utilisées pour des couplages multiples, voir Figure A.1.

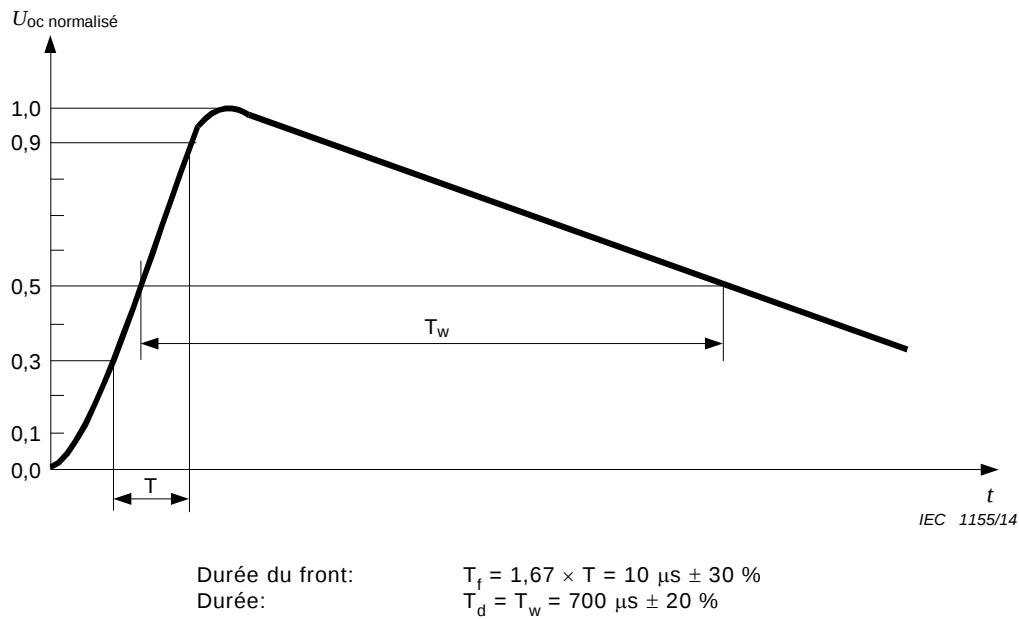


Figure A.2 – Forme d’onde de tension en circuit ouvert (10/700 μs)

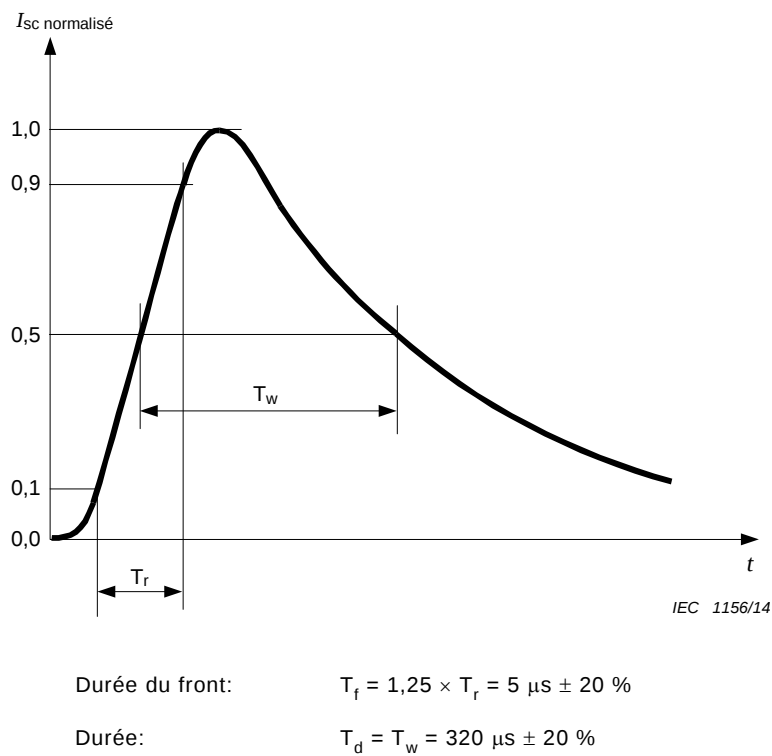


Figure A.3 – Forme d’onde de courant de court-circuit 5/320 μs

Tableau A.1 – Définitions des paramètres des formes d’onde 10/700 μs et 5/320 μs

	Durée du front μs	Durée μs
Tension en circuit ouvert	10 ± 30 %	700 ± 20 %
Courant de court-circuit	5 ± 20 %	320 ± 20 %

Tableau A.2 – Relations entre tension de crête en circuit ouvert et courant de crête de court-circuit

Tension de crête en circuit ouvert $\pm 10\%$ à la sortie du générateur	Courant de crête de court-circuit $\pm 10\%$ à la sortie du générateur
0,5 kV	12,5 A
1,0 kV	25 A
2,0 kV	50 A
4,0 kV	100 A

NOTE Le courant de crête de court-circuit est mesuré avec le commutateur S1 de la Figure A.1 ouvert.

Le courant de crête de court-circuit et la tension de crête en circuit ouvert doivent être mesurés avec les mêmes réglages du générateur.

A.2.3 Etalonnage du générateur

Afin de pouvoir comparer les résultats des essais obtenus à partir de différents générateurs, le générateur doit être étalonné régulièrement. A cet effet, il est nécessaire d'en mesurer les caractéristiques essentielles selon la procédure suivante.

La sortie du générateur doit être connectée à un système de mesure d'une largeur de bande suffisante, d'une capacité en tension et en courant permettant le contrôle des caractéristiques des formes d'onde. L'Annexe E fournit des informations relatives à la largeur de bande des formes d'ondes de choc.

Si un transformateur de courant (sonde) est utilisé pour mesurer le courant de court-circuit, il convient de le choisir de façon à ce qu'il n'y ait pas de saturation du noyau magnétique. Il convient que la fréquence de cassure la plus basse (-3 dB) de la sonde soit inférieure à 10 Hz.

Les caractéristiques du générateur doivent être mesurées en circuit ouvert (impédance de charge supérieure ou égale à 10 k Ω) et en court-circuit (impédance de charge inférieure ou égale à 0,1 Ω) pour la même tension établie.

Toutes les caractéristiques de performance indiquées en A.2.2 doivent être satisfaites en sortie du générateur.

A.3 Réseaux de couplage/découplage

A.3.1 Généralités

En raison de la nature du câblage utilisé pour les lignes de communications non blindées symétriques extérieures (paires torsadées), le couplage est toujours en mode commun. Le schéma de couplage/découplage est représenté à la Figure A.4.

Le couplage par parafoudres est la méthode recommandée pour les lignes non blindées symétriques extérieures. Il est représenté à la Figure A.4. Le réseau de couplage a également pour rôle d'assurer la séparation du courant de choc dans des paires multiples sur les câbles multiconducteurs. La résistance d'adaptation interne R_{m2} (25 Ω) est remplacée par l'externe $R_c = 25 \Omega$.

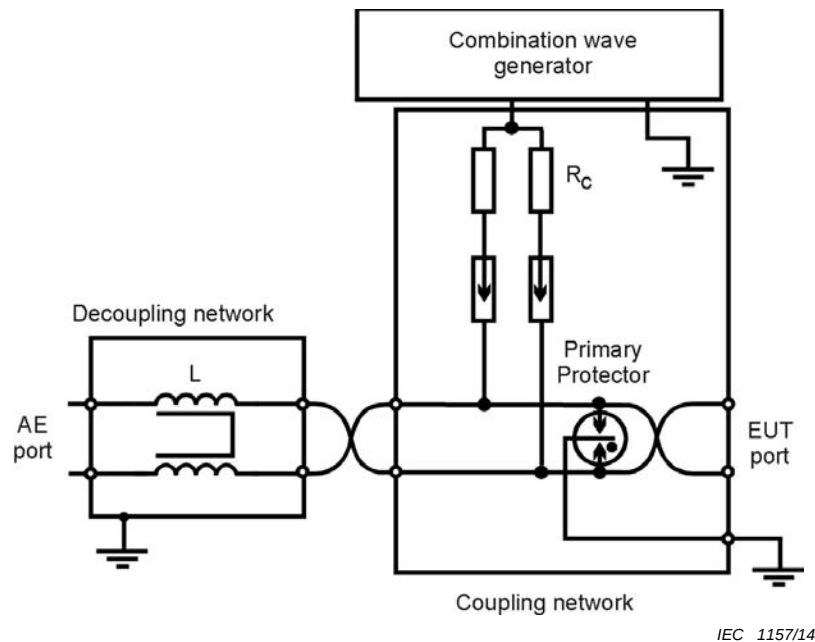
Caractéristiques recommandées du réseau de couplage/découplage:

Impédance de couplage $R_c = 25 \Omega$ par ligne plus l'impédance du parafoudre;

Inductances de découplage $L = 20 \text{ mH}$

La conception suggérée du réseau de couplage et de découplage et les valeurs des composants peuvent ne pas être adaptées pour les réseaux rapides (par exemple DSL), car la transmission de données souhaitée peut être dégradée.

A.3.2 Réseaux de couplage/découplage pour les lignes de communications extérieures



Légende

Anglais	Français
Combination wave generator	Générateur d'ondes combinées
Decoupling network	Réseau de découplage
Primary protector	Protection primaire
AE port	Accès EA
EUT port	Accès EUT
Coupling network	Réseau de couplage

La résistance d'adaptation interne R_{m2} (25 Ω) est remplacée par la résistance externe $R_C = 25 \Omega$.

NOTE 1 Les parafoudres à gaz représentés peuvent être remplacés par un circuit de clampage tel que celui qui est représenté à la Figure 9.

NOTE 2 Quand l'accès est toujours prévu pour être utilisé avec une protection primaire particulière, l'essai est réalisé avec la protection primaire en place afin d'assurer la coordination avec les éléments de protection.

Figure A.4 – Exemple de montage d'essai pour lignes de communications non blindées symétriques extérieures: couplage phases-terre, couplage par parafoudres à gaz (équipés de protection primaire)

A.4 Etalonnage des réseaux de couplage/découplage

Les mesures doivent être réalisées avec l'impulsion appliquée à l'une des paires de couplage à la fois.

L'amplitude de crête, la durée du front et la durée de l'impulsion doivent être mesurées alors que la tension d'impulsion du RCD se trouve en conditions de circuit ouvert et le courant en conditions de court-circuit. Les valeurs sont indiquées au Tableau A.4.

Les entrées du RD du côté de l'EA doivent être court-circuitées à la PE afin de mesurer la tension d'impulsion et le courant d'impulsion à l'accès de sortie de l'EUT.

La valeur du résidu de la tension dépend des exigences de protection de l'EA. Par conséquent la présente norme n'indique aucune limite

Le processus d'étalonnage est décrit dans le Tableau A.3.

Tableau A.3 – Résumé du processus d'étalonnage des RCD pour les lignes de communications non blindées symétriques extérieures

	Couplage	Mesure	Côté de l'EA	Côté de l'EUT
Tension de choc du côté de l'EUT	Mode commun – une paire à la PE	Les deux lignes court-circuitées ensemble à partir d'une paire: tension de crête, durée du front, durée	Toutes les lignes court-circuitées à la PE	Circuit ouvert Les deux lignes connectées ensemble à partir d'une paire
Courant de choc du côté de l'EUT	Mode commun – une paire à la PE	Les deux lignes court-circuitées ensemble à partir d'une paire: courant de crête, durée du front, durée	Toutes les lignes court-circuitées à la PE	Les deux lignes court-circuitées à la PE à partir d'une paire
Résidu de la tension du côté de l'EA (comportant des éléments de protection)	Mode commun – une paire à la PE	Les deux lignes court-circuitées ensemble à partir d'une paire: tension de crête	Circuit ouvert	Circuit ouvert

Ce processus d'étalonnage a pour but de vérifier le fonctionnement correct des composants, la saturation des bobines d'inductance de découplage, l'effet de découplage de la partie RD, la capacité en courant et l'effet de couplage de la partie RC. La méthode de couplage décrite dans les alinéas ci-dessus influe sur les formes d'ondes de la tension et du courant. Les paramètres pour l'étalonnage sont définis dans le Tableau A.4.

Tableau A.4 – Spécifications de la forme d'onde de choc à l'accès EUT du RCD pour les lignes de communications non blindées symétriques extérieures

Méthode de couplage	Tension de sortie du CWG _{a,b,c}	Tension en circuit ouvert à la sortie EUT du RCD ± 10 %	Tension durée du front T _f ± 30 %	Tension durée T _d ± 30 %	I _{sc} à la sortie EUT du RCD ± 20 %	Courant durée du front T _f ± 30 %	Courant durée T _d ± 30 %
Mode commun CD 1 paire 27,5 Ω	4 kV	4 kV	8 μs	250 μs	145 A	3,2 μs	250 μs
^a Pour les RCD comportant plus d'une paire, chacune des paires est à étalonner séparément, comme décrit dans le Tableau A.3. ^b Le couplage par parafoudres à gaz, dispositifs de clampage ou à avalanche présente un bruit de manœuvre sur la forme d'onde d'impulsion. Appliquer la tension d'impulsion la plus élevée possible réduit au minimum leur impact sur les mesures; il est recommandé de ne pas tenir compte du bruit de manœuvre pour les mesures des durées du front et des valeurs de durée. ^c Les valeurs présentées dans ce tableau sont destinées à un CWG ayant des valeurs idéales. Si le CWG génère des valeurs de paramètres proches des tolérances, les tolérances supplémentaires du RCD peuvent générer des valeurs hors des tolérances applicables à la combinaison CWG-RCD.							

A.5 Montage d'essai pour les ondes de choc appliquées aux lignes de communications non blindées symétriques extérieures

Pour les circuits équilibrés d'interconnexion ou de communications (voir Figure A.4), la méthode du couplage capacitif ne peut normalement pas être utilisée. Le couplage est alors effectué au moyen de parafoudres à gaz. Des niveaux d'essai inférieurs au point d'amorçage du parafoudre de couplage (celui-ci est d'environ 300 V pour un parafoudre à gaz 90 V) ne peuvent pas être spécifiés.

Deux configurations d'essai sont à prendre en compte:

- Pour évaluer le niveau d'immunité du matériel, un essai doit être réalisé avec uniquement une protection secondaire au niveau de l'EUT, à un faible niveau d'essai, par exemple 0,5 kV ou 1 kV.
- Pour évaluer le niveau d'immunité du système, un essai doit être réalisé avec une protection primaire additionnelle, à un niveau d'essai plus élevé, par exemple 2 kV ou 4 kV.

Sauf spécification contraire, la ligne d'interconnexion reliant l'EUT au réseau de couplage/découplage ne doit pas avoir une longueur supérieure à 2 m.

Le couplage est toujours en mode commun, tous les conducteurs en même temps étant connectés à la terre de référence (voir Figure A.4).

NOTE Les conducteurs non soumis à essai sont connectés à la terre par un dispositif de couplage n'ayant pas d'incidence sur la circulation des données souhaitée de l'accès en essai (par exemple GDT).

Annexe B (informative)

Choix des générateurs et des niveaux d'essai

B.1 Généralités

Il convient de choisir les niveaux d'essai en fonction des conditions d'installation, ce qui peut être spécifié dans les normes de produits ou de familles de produits. En l'absence de niveaux définis, il convient d'utiliser les Tableaux B.1 et B.2 ainsi que les informations données en C.3. Ces valeurs ne sont fournies qu'à titre d'illustration et ne constituent pas une recommandation ou une exigence. Les valeurs ont été choisies dans un but purement explicatif et ne sont pas spécifiées en tant que pratique recommandée.

B.2 Classification des environnements

- Classe 0: Environnement électrique bien protégé, souvent celui d'une salle spéciale
- Classe 1: Environnement électrique partiellement protégé
- Classe 2: Environnement électrique pour lequel les câbles sont bien séparés, même sur des parcours de faible longueur
- Classe 3: Environnement électrique pour lequel le parcours des câbles est parallèle
- Classe 4: Environnement électrique pour lequel les interconnexions se font par des câbles extérieurs, à côté des câbles d'énergie, et pour lequel les câbles sont utilisés à la fois pour des circuits électroniques et des circuits électriques
- Classe 5: Environnement électrique pour du matériel électronique relié à des câbles de télécommunications et à des lignes électriques aériennes d'une zone qui n'est pas très peuplée
- Classe x: Conditions particulières stipulées dans les spécifications de produit

Pour déterminer le niveau d'immunité d'un système, il convient de prendre des mesures complémentaires applicables aux conditions réelles d'installation, par exemple l'adjonction d'une protection primaire. Des informations complémentaires sont données à l'Annexe C.

B.3 Définition des types d'accès

Accès intra système:

- L'accès est connecté aux accès au sein du même système.

Accès intérieur:

- Connecté uniquement aux câbles d'un même bâtiment.
- L'accès n'est pas destiné à fournir un service qui peut être connecté directement à une connexion extérieure.
- L'accès n'a pas de connexion conductrice à un câble qui sort du bâtiment par un autre matériel (par exemple, via un séparateur).

Accès extérieur:

- L'accès est destiné à se connecter directement aux lignes qui sortent d'un bâtiment.
- L'accès dispose d'une connexion conductrice à un câble qui quitte le bâtiment par un autre matériel (par exemple, via un séparateur).

B.4 Types de générateurs et d'ondes de choc

Les ondes de choc (et les générateurs) associées aux différentes classes sont les suivantes:

Classes 1 à 5: 1,2/50 μ s (8/20 μ s) pour les accès des lignes d'alimentation, des circuits/lignes de signaux courte distance et des réseaux locaux (par exemple, Ethernet, token ring, etc.) et réseaux similaires.

Classes 4 à 5: 10/700 μ s (5/320 μ s) pour les lignes de communications symétriques destinées à interconnecter des systèmes largement dispersés, au moyen par exemple de connexion directe à des réseaux de télécommunications multi-utilisateurs (par exemple, réseaux téléphoniques publics commutés (RTPC), lignes d'accès numérique de type x (xDSL), etc.); les lignes sont en général d'une longueur supérieure à 300 m.

Les impédances de source doivent être celles indiquées sur les figures correspondant aux montages d'essai concernés.

B.5 Tableaux

**Tableau B.1 – Accès d'alimentation: choix des niveaux d'essai
(en fonction de la classe de l'installation)**

Classe de l'installation	Niveaux d'essai (kV)							
	Alimentation c.a. et E/S c.a.		Alimentation c.a. et E/S c.a.		Alimentation c.c. et E/S c.c.		Alimentation c.c. et E/S c.c.	
	Accès extérieurs ^a		Accès intérieurs ^{a,d}		Accès extérieurs ^a		Accès intérieurs ^{a,d}	
	Mode de couplage		Mode de couplage		Mode de couplage		Mode de couplage	
	Entre phases	Phase-terre	Entre phases	Phase-terre	Entre phases	Phase-terre	Entre phases	Phase-terre
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	NA	0,5	NA	NA	NA	NA	NA	NA
2	0,5	1,0	NA	NA	NA	NA	NA	NA
3	1,0	2,0	1,0	2,0	NA	NA	NA	NA
4	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b
5	c,b	c,b	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b
^a	Aucun essai n'est conseillé si la longueur du câble est inférieure ou égale à 10 m.							
^b	Quand l'accès est toujours prévu pour être utilisé avec une protection primaire particulière, l'essai est réalisé avec la protection primaire en place afin d'assurer la coordination avec les éléments de protection. Si la protection primaire requise pour protéger l'interface n'est pas fournie, l'essai est aussi réalisé au maximum permis par le niveau de la protection primaire spécifié et avec une protection primaire normale.							
^c	Dépend de la classe du système d'alimentation local.							
^d	L'essai des accès intra-systèmes n'est généralement pas requis.							

**Tableau B.2 – Circuits/lignes: choix des niveaux d'essai
(en fonction de la classe de l'installation)**

Classe de l'installation	Niveaux d'essai (kV)											
	Circuits/lignes non symétriques a,c,e				Circuits/lignes symétriques a,c,e				Circuits/lignes blindés a,d,e			
	Accès extérieur		Accès intérieur		Accès extérieur		Accès intérieur		Accès extérieur		Accès intérieur	
	Entre phases	Phase -terre	Entre phases	Phase -terre	Entre phases	Phase-terre	Entre phases	Phase-terre	Entre phases	Blindage à la terre	Entre phases	Blindage à la terre
0	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA
1	NA	NA	NA	0,5	NA	NA	NA	0,5	NA	NA	NA	NA
2	NA	NA	0,5	1,0	NA	NA	NA	1,0	NA	NA	NA	0,5
3	NA	NA	1,0	2,0	NA	NA	NA	2,0	NA	NA	NA	2,0
4	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b	NA	4,0 ^b	NA	4,0 ^b	NA	4,0 ^b	NA	4,0 ^b
5	2,0 ^b	4,0 ^b	2,0 ^b	4,0 ^b	NA	4,0 ^b	NA	4,0 ^b	NA	4,0 ^b	NA	4,0 ^b
^a Aucun essai n'est conseillé sur les câbles d'interconnexion jusqu'à 10 m pour les lignes de données. ^b Quand l'accès est toujours prévu pour être utilisé avec une protection primaire particulière, l'essai est réalisé avec la protection primaire en place afin d'assurer la coordination avec les éléments de protection. Si la protection primaire requise pour protéger l'interface n'est pas fournie, l'essai est aussi réalisé au maximum permis par le niveau de la protection primaire spécifié et avec une protection primaire normale. ^c Les ondes de choc entre phases (transverses) peuvent apparaître dans des réseaux où des SPD avec connexion à la terre sont destinés à être utilisés comme protection. De telles ondes de choc sont en dehors du domaine d'application de cette norme. Ce phénomène peut toutefois être simulé en appliquant des ondes de choc en mode commun à travers les éléments de protection primaires définis. ^d Les essais des accès connectés à des antennes ne relèvent pas du domaine d'application de la présente partie de l'IEC 61000. ^e L'essai d'accès intra-systèmes n'est pas exigé en général.												

Annexe C (informative)

Notes explicatives

C.1 Différentes impédances de source

La sélection de l'impédance de source du générateur dépend:

- du type de câble/conducteur/ligne (alimentation c.a., alimentation c.c., interconnexion, etc.);
- de la longueur des câbles/lignes;
- des conditions intérieures/extérieures;
- de l'application de la tension d'essai (entre phases ou phases-terre).

L'impédance de $2\ \Omega$ représente l'impédance de source du réseau d'alimentation basse tension. Le générateur est utilisé avec son impédance effective de sortie de $2\ \Omega$.

L'impédance de $12\ \Omega$ ($10\ \Omega + 2\ \Omega$) représente l'impédance de source du réseau d'alimentation basse tension et celle de la terre. Le générateur est utilisé avec une résistance additionnelle de $10\ \Omega$ mise en série.

L'impédance effective de $42\ \Omega$ ($40\ \Omega + 2\ \Omega$) représente l'impédance de source entre tous les autres phases et la terre. Le générateur est utilisé avec une résistance additionnelle de $40\ \Omega$ mise en série.

NOTE Les accès c.c. qui sont prévus pour être connectés à un convertisseur c.a./c.c. (par exemple la connexion c.c. de l'alimentation d'un ordinateur portable) ne sont pas considérés comme des accès d'alimentation à basse tension. Si la puissance en c.c. est transmise sur des conducteurs inclus dans un câble de signaux alors ces connexions ne sont pas considérées comme des accès d'alimentation à basse tension.

Dans certains pays (les Etats-Unis par exemple), d'autres normes non IEC applicables aux lignes en courant alternatif peuvent nécessiter de réaliser les essais représentés aux Figures 5 et 7 avec une impédance de $2\ \Omega$, ce qui rend les essais plus sévères.

C.2 Application des essais

C.2.1 Niveau d'immunité d'un matériel

L'essai doit être effectué en laboratoire sur un seul EUT. L'immunité de l'EUT, ainsi évaluée par essai, se rapporte au niveau d'immunité d'un matériel.

La tension d'essai ne doit pas excéder la capacité d'isolation de l'EUT spécifiée pour la haute tension.

C.2.2 Niveau d'immunité d'un système

Des gammes de niveaux d'essai préférentiels sont données aux Tableaux B.1 et B.2.

L'essai effectué en laboratoire se rapporte à un EUT, mais l'immunité de l'EUT n'assure pas nécessairement l'immunité d'un système plus grand qui le contient. Afin d'assurer le niveau d'immunité d'un système, il est donc recommandé de réaliser un essai, simulant l'installation réelle, au niveau du système. L'installation simulée doit comprendre des EUT individuels et doit également comporter des dispositifs de protection (des parafoudres) s'ils sont exigés par le manuel d'application du système ou stipulés par l'opérateur du système/réseau. La

longueur réelle et le type de lignes d'interconnexion sont utilisés, tous pouvant affecter le niveau de protection global du système.

La simple addition d'un parafoudre externe qui n'est pas coordonné avec d'autres parafoudres internes, pourrait n'avoir aucun effet, pourrait réduire l'effet sur tout le système de protection, ou pourrait améliorer l'ensemble du système de protection.

Des informations complémentaires peuvent être trouvées dans les normes relatives aux parafoudres des séries IEC 61643 et IEC 62305.

Cet essai est destiné à simuler de façon aussi fidèle que possible les conditions d'installation dans lesquelles l'EUT ou les EUT sont appelés à fonctionner.

Dans une installation réelle, des niveaux de tension plus élevés peuvent être appliqués; toutefois l'énergie de l'onde de choc est limitée par les dispositifs de protection installés en raison de leurs caractéristiques de limitation en courant.

L'essai au niveau système est également destiné à montrer que les effets secondaires produits par les dispositifs de protection (changement de forme d'onde, de mode, d'amplitude des tensions ou des courants) ne provoquent pas d'effets inacceptables pour l'EUT. Afin de vérifier qu'aucune fenêtre, dans laquelle des dommages pourraient se produire, n'existe dans l'EUT à une tension d'essai particulière, il est nécessaire d'effectuer les essais avec des tensions d'essai augmentées progressivement jusqu'à la valeur requise. Cette tension d'essai particulière est déterminée par les points de fonctionnement des composants de protection ou des dispositifs de protection disposés dans l'EUT (voir l'IEC 61643-21 :2000, et Amendement 2:2012, 6.2.1.8).

C.3 Classification de l'installation

- Classe 0** Environnement électrique bien protégé, souvent celui d'une salle spéciale
- Tous les câbles entrant sont équipés de protections (primaire et secondaire) contre les surtensions. Les éléments du matériel électronique sont reliés à un dispositif de mise à la terre bien conçu et qui n'est pas notablement influencé par l'installation d'énergie ou par la foudre.
- Le matériel électronique est doté de sa propre alimentation (voir le Tableau B.1).
- La tension de choc ne peut pas dépasser 25 V.
- Classe 1** Environnement électrique partiellement protégé
- Tous les câbles entrant dans la salle sont équipés d'une protection (primaire) contre les surtensions. Les éléments du matériel sont convenablement reliés à un réseau de conducteurs de terre qui n'est pas notablement influencé par l'installation d'énergie ou par la foudre.
- Le matériel électronique bénéficie d'une alimentation complètement séparée des autres matériels.
- Les opérations de manœuvre peuvent produire des tensions perturbatrices dans la salle.
- La tension de choc ne peut pas dépasser 500 V.
- Les exigences de cette classe sont couvertes par le niveau d'essai 1, tel que défini dans le Tableau 1.
- Classe 2** Environnement électrique pour lequel les câbles sont bien séparés, même sur des parcours de faible longueur
- L'installation est, par l'intermédiaire d'un conducteur de terre séparé, raccordée à un dispositif de mise à la terre de l'installation d'énergie qui peut être soumise aux tensions perturbatrices produites par l'installation elle-même ou par la foudre.

L'alimentation du matériel électronique est séparée des autres circuits, généralement par un transformateur particulier à cette alimentation.

Des circuits non protégés existent dans l'installation, mais ils sont bien séparés et en petit nombre.

Les tensions de choc ne peuvent pas dépasser 1 kV.

Les exigences de cette classe sont couvertes par le niveau d'essai 2, tel que défini dans le Tableau 1.

Classe 3 Environnement électrique pour lequel le parcours des câbles d'énergie et de signaux est parallèle

L'installation est raccordée au dispositif commun de mise à la terre de l'installation d'énergie qui peut être soumise aux tensions perturbatrices produites par l'installation elle-même ou par la foudre.

Des courants dus à des défauts à la terre, à des opérations de manœuvre et à la foudre dans l'installation d'énergie peuvent produire des tensions perturbatrices d'amplitude relativement élevée dans le dispositif de mise à la terre. Le matériel électronique protégé et le matériel électrique moins sensible sont connectés au même réseau d'alimentation. Les interconnexions peuvent, en partie, se faire par des câbles extérieurs qui restent proches du réseau de mise à la terre.

Des charges inductives non antiparasitées sont contenues dans l'installation et, en général, les différents câbles du site ne sont pas séparés.

La tension de choc ne peut pas dépasser 2 kV.

Les exigences de cette classe sont couvertes par le niveau d'essai 3, tel que défini dans le Tableau 1.

Classe 4 Environnement électrique pour lequel les interconnexions se font par des câbles extérieurs, à côté des câbles d'énergie, et pour lequel les câbles sont utilisés à la fois pour des circuits électroniques et des circuits électriques

L'installation est connectée au dispositif de mise à la terre de l'installation d'énergie qui peut être soumise aux tensions perturbatrices produites par l'installation elle-même ou par la foudre.

Des courants de l'ordre du kA dus à des défauts à la terre, à des opérations de manœuvre et à la foudre dans l'installation d'énergie, peuvent produire des tensions perturbatrices d'amplitude relativement élevée dans le dispositif de mise à la terre. Le réseau d'alimentation peut être à la fois commun au matériel électronique et au matériel électrique. Les interconnexions se font par des câbles extérieurs, même pour le matériel haute tension.

Un cas d'espèce de cet environnement concerne le raccordement du matériel électronique au réseau de télécommunications dans une zone très peuplée. Un réseau de mise à la terre n'est pas systématiquement réalisé hors du matériel électronique et le dispositif de mise à la terre est alors simplement composé de tuyaux, de câbles, etc.

La tension de choc ne peut pas dépasser 4 kV.

Les exigences de cette classe sont couvertes par le niveau d'essai 4, tel que défini dans le Tableau 1.

Classe 5 Environnement électrique pour le matériel électronique connecté aux câbles de télécommunications et aux lignes électriques aériennes dans une zone qui n'est pas très peuplée

Tous les câbles et lignes sont pourvus d'une protection (primaire) contre les surtensions. Hormis le matériel électronique, il n'existe pas de dispositif de mise à la terre de quelque importance (installation exposée). Les tensions perturbatrices résultant de défauts à la terre (courants jusqu'à 10 kA) et de la foudre (courants jusqu'à 100 kA) peuvent être très élevées.

Classe x Conditions particulières stipulées dans les spécifications de produit.

C.4 Niveau d'immunité minimum des accès raccordés à l'alimentation secteur c.a./c.c.

Pour le raccordement à un réseau électrique, le niveau d'immunité minimum est le suivant:

- couplage entre phases: 0,5 kV;
- couplage phase-terre: 1 kV.

C.5 Niveau d'immunité d'un matériel dont les accès sont raccordés à des lignes d'interconnexion

Les essais d'onde de choc sur les circuits d'interconnexion sont uniquement exigés pour les connexions externes (à l'extérieur de l'armoire ou du boîtier).

Lorsque des essais peuvent être réalisés au niveau du système (les câbles d'interconnexion étant raccordés à l'EUT), il n'est pas nécessaire d'en pratiquer d'autres au niveau du matériel lui-même et, plus particulièrement, lorsque le blindage du câble d'interconnexion fait partie des dispositifs de protection. Si l'installation du matériel est effectuée par des personnes autres que les constructeurs du matériel, il convient de spécifier la tension admissible aux entrées/sorties (notamment pour l'interface de traitement) de l'EUT.

Il convient que le constructeur vérifie par essai son matériel en prenant en compte les niveaux d'essai spécifiés afin de confirmer le niveau d'immunité du matériel lui-même, par exemple le niveau 0,5 kV retenu pour les accès d'un EUT muni d'une protection secondaire. Il convient que les utilisateurs du matériel ou les responsables de son installation prennent les mesures nécessaires (par exemple le blindage, la mise à la masse, la mise à la terre, l'usage de dispositifs de protection) permettant de garantir qu'une tension perturbatrice, résultant par exemple de coups de foudre, ne dépassera pas le niveau d'immunité retenu.

Annexe D (informative)

Considérations en vue d'obtenir l'immunité pour les matériels connectés aux réseaux de distribution d'alimentation basse tension

La présente norme décrit les essais permettant de déterminer l'immunité aux ondes de choc de tension et de courant des matériels et systèmes électroniques. Le matériel ou le système à soumettre à essai est considéré comme une boîte noire et les résultats des essais sont jugés selon les critères suivants:

- a) fonctionnement normal;
- b) perte temporaire de fonction ou dégradation temporaire du fonctionnement ne nécessitant pas l'intervention d'un opérateur;
- c) perte temporaire de fonction ou dégradation temporaire du fonctionnement nécessitant l'intervention d'un opérateur;
- d) perte de fonction avec dommage permanent du matériel (ce qui signifie l'échec de l'essai).

Alors que les essais de la présente norme examinent la gamme complète des effets possibles sur les matériels et systèmes dus aux ondes de choc de courants comparativement faibles, incluant leurs dommages permanents et leur destruction, il existe d'autres essais normalisés qui leur sont apparentés, mais qui ne sont pas autant concernés par la perte temporaire de fonction, mais plus par le dommage réel ou la destruction des matériels et systèmes.

L'IEC 60664-1 est concernée par la coordination d'isolement des matériels à l'intérieur des systèmes basse tension et l'IEC 61643-1 est une norme d'essai des parafoudres connectés aux réseaux de distribution d'alimentation basse tension. De plus, ces deux normes sont concernées par l'effet des surtensions temporaires sur les matériels. La série IEC 61000 ne considère pas l'effet des surtensions temporaires sur les matériels ou systèmes.

Le dommage permanent est souvent inacceptable, puisqu'il résulte en une durée d'immobilisation du système et en des dépenses de réparations ou de remplacements. Ce type de défaillance est généralement dû à une protection contre les ondes de choc inadéquate ou manquante, ce qui permet aux hautes tensions et aux courants de choc excessifs de pénétrer dans les circuits des matériels, causant des dysfonctionnements, des défaillances de composants, des pertes d'isolement permanentes et des dangers de feu, fumée ou de choc électrique. Toutefois, il est également non souhaitable de subir toute perte ou dégradation du fonctionnement du matériel ou du système, particulièrement s'il est critique et doit rester en fonction quand les ondes de choc surviennent.

Dans le cas des essais décrits dans la présente norme, l'amplitude du niveau de la tension d'essai appliquée (classe d'installation) et l'onde de choc de courant résultante ont un effet direct sur la réponse du matériel. Plus simplement dit, plus le niveau de la tension de l'onde de choc est élevé, plus la probabilité d'une perte ou de dégradation de fonctionnement est grande, à moins que le matériel ait été conçu afin de fournir un niveau d'immunité approprié.

Pour soumettre à l'essai d'ondes de choc les parafoudres (SPD) utilisés dans les réseaux d'alimentation basse tension, l'IEC 61643-1, classe d'essai III, spécifie un générateur d'ondes combinées ayant une impédance effective de sortie de $2\ \Omega$, ce qui produit une forme d'onde de courant de court-circuit de type 8/20 μs et une forme d'onde de tension en circuit ouvert de type 1,2/50 μs . La présente norme utilise le même générateur d'ondes combinées pour l'essai d'immunité aux ondes de choc des matériels et systèmes alimentés, mais avec différents éléments de couplage et aussi parfois une impédance en série additionnelle. La signification de niveau d'essai en tension (classe d'installation) de la présente norme et la tension de crête en circuit ouvert U_{oc} de l'IEC 61643-1 sont équivalentes. Cette tension détermine la valeur de crête du courant de court-circuit aux bornes du générateur. Du fait des différences entre méthodes d'essai, les résultats d'essai peuvent ne pas être directement comparables.

L'immunité aux ondes de choc des matériels ou des systèmes peut être obtenue grâce à des composants ou dispositifs de protection (parafoudres) intégrés, ou des parafoudres externes. Un des critères de sélection les plus importants pour les parafoudres est le niveau de protection en tension, U_p , défini et décrit dans l'IEC 61643-1. Il convient de coordonner ce paramètre avec la tension de tenue U_w du matériel conformément à l'IEC 60664-1, il s'agit de la tension maximum attendue aux bornes du parafoudre au cours des essais réalisés dans des conditions spécifiques. U_p est seulement utilisée dans l'IEC 61643-12 pour la coordination avec la tension de tenue du matériel U_w . Il convient que la valeur du niveau de protection en tension à un niveau de contrainte comparable soit également en-dessous du niveau d'immunité en tension à cette contrainte comparable du matériel soumis à essai selon la présente norme, mais ceci n'est pas traité à l'heure actuelle, spécialement parce que les formes d'onde ne sont pas toujours comparables entre les deux normes.

En général, les niveaux d'immunité aux ondes de choc des matériels selon la présente norme sont inférieurs aux niveaux de tenue en isolement de l'IEC 60664-1, cependant il convient de prêter une attention particulière aux effets des surtensions temporaires selon l'IEC 60364-4-44 sur un parafoudre (ou composant de protection intégré) ayant un niveau de protection excessivement bas. Il est tout à fait possible de choisir un parafoudre qui protégera le matériel d'une défaillance, restera opérationnel au cours de la survenance des ondes de choc et supportera la plupart des conditions de surtensions temporaires.

Annexe E (informative)

Modélisation mathématique des formes d'ondes de choc

E.1 Généralités

L'Annexe E fournit des formes d'ondes mathématiques de référence pour:

- la conception des générateurs d'ondes de choc,
- les simulations de performance d'onde de choc sur appareil numérique.

Les formules ont été définies en prenant en compte les exigences suivantes:

- 1) Reproduire la durée du front et la durée nominales comme définies dans la norme dédiée aux générateurs d'ondes de choc ayant une sortie en circuit ouvert et en court-circuit.
- 2) Aider les concepteurs d'appareils numériques à développer un modèle de circuit de générateurs en utilisant les circuits simplifiés décrits dans la norme dédiée avec les valeurs nominales des éléments de circuit, le cas échéant.
- 3) Disposer de dérivées nulles au départ afin d'éviter toute instabilité lors de la réalisation de simulations numériques.
- 4) Utiliser la même formule de base que celle de l'IEC pour les phénomènes transitoires comme ESD, EFT/B et onde de choc.

NOTE Pour la tension de choc (1,2/50 μ s) et le courant de choc (8/20 μ s), les formes d'onde mathématiques définies correspondent bien à celles définies dans l'IEEE Std C62.45-2002. Aucune comparaison ne peut être effectuée pour la tension de choc (10/700 μ s) car l'IEEE Std C62.45-2002 fournit des valeurs pour la tension de choc (10/1000 μ s). Pour le courant de choc (5/320 μ s) les valeurs ne sont pas disponibles.

Les définitions de paramètres suivantes sont utilisées:

- 1) T_w est l'intervalle de temps compris entre les 50 % du front montant et descendant de la forme d'onde.
- 2) T est le temps de montée de la tension de choc défini comme le temps compris entre les 30 % et les 90 % de la réponse de la forme d'onde aux premiers instants.
- 3) T_r est le temps de montée du courant de choc défini comme le temps compris entre les 10 % et les 90 % de la réponse de la forme d'onde aux premiers instants.
- 4) T_d est la durée comprise entre la valeur minimum de la réponse aux premiers instants et 50 % du temps de descente.
- 5) T_f est la durée du front définie comme le temps compris entre l'intersection d'une ligne, ayant une pente proche de la réponse aux premiers instants, et la ligne horizontale passant respectivement par les valeurs minimum et maximum de la forme d'onde. Les valeurs suivantes sont définies pour correspondre aux formes d'onde fournies par les circuits simplifiés utilisant des simulations de modèle:
 - tension de choc (1,2/50 μ s): $T_f = 1,67 \times T$; $T_d = T_w$
 - courant de choc (8/20 μ s): $T_f = 1,25 \times T_r$; $T_d = 1,18 \times T_w$
 - tension de choc (10/700 μ s): $T_f = 1,67 \times T$; $T_d = T_w$
 - courant de choc (5/320 μ s): $T_f = 1,25 \times T_r$; $T_d = T_w$
- 6) BW est la largeur de bande des formes d'ondes de choc définies à la fréquence à laquelle la réponse spectrale commence à diminuer avec une pente de -60 dB/décennie.

E.2 Tension d'onde de choc normalisée dans le domaine temporel (1,2/50 µs)

L'expression de la tension d'onde de choc normalisée dans le domaine temporel 1,2/50 µs est donnée par

$$v_{\text{SURGE}}(t) = k_V \cdot \left[\frac{v_1}{k_{\text{SURGE}}} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}} \cdot e^{\frac{-t}{\tau_2}} \right] \quad (\text{E.1})$$

Les coefficients qui apparaissent dans l'Equation (E.1) ont les valeurs suivantes

$$k_V = 1 \quad \tau_1 = 0,356 \text{ µs} \quad \tau_2 = 65,845 \text{ µs} \quad v_1 = 0,94 \quad \eta_{\text{SURGE}} = 1,852$$

$$k_{\text{SURGE}} = e^{\frac{-\tau_1}{\tau_2} \left(\frac{\eta_{\text{SURGE}} \cdot \tau_2}{\tau_1} \right)^{\frac{1}{\eta_{\text{SURGE}}}}}$$

Le tracé de la tension d'onde de choc 1,2/50 µs en fonction du temps est donné à la Figure E.1.

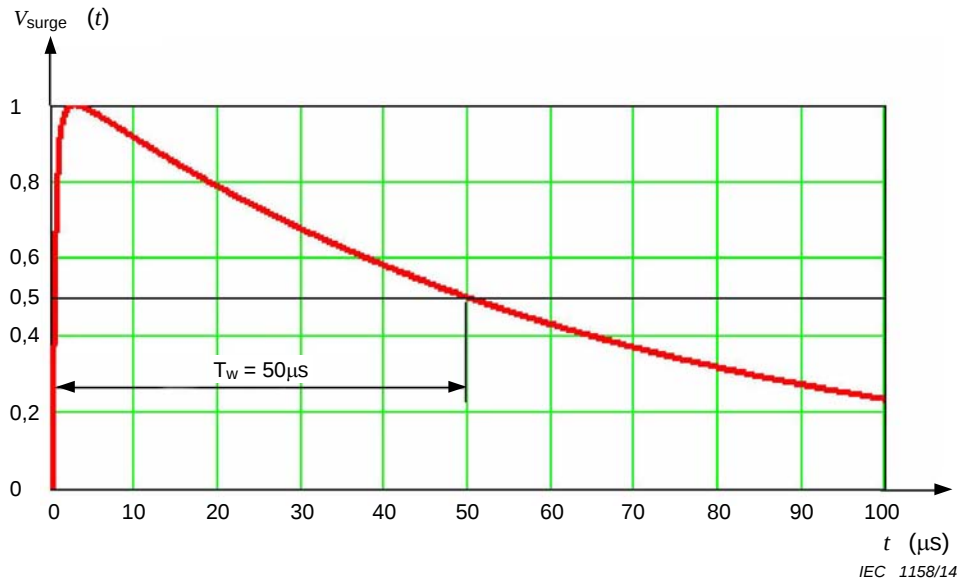


Figure E.1 – Tension de choc (1,2/50 µs): réponse dans l'intervalle de temps T_w

Un grossissement visant à mettre en évidence la réponse aux premiers instants, est tracé à la Figure E.2.

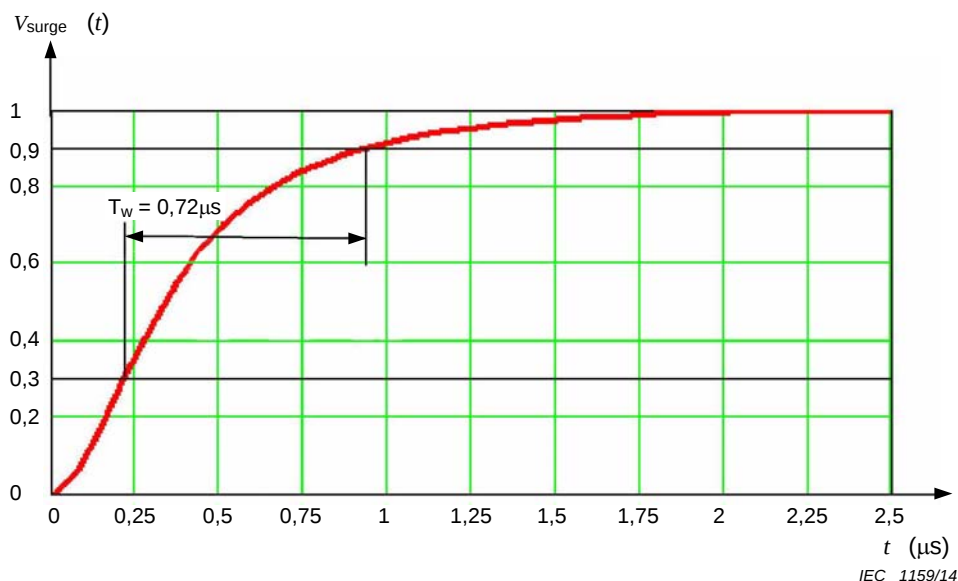


Figure E.2 – Tension de choc (1,2/50 μs): réponse de temps de montée T

L'amplitude de la réponse spectrale correspondant à l'Equation (E.1) est donnée en Figure E.3.

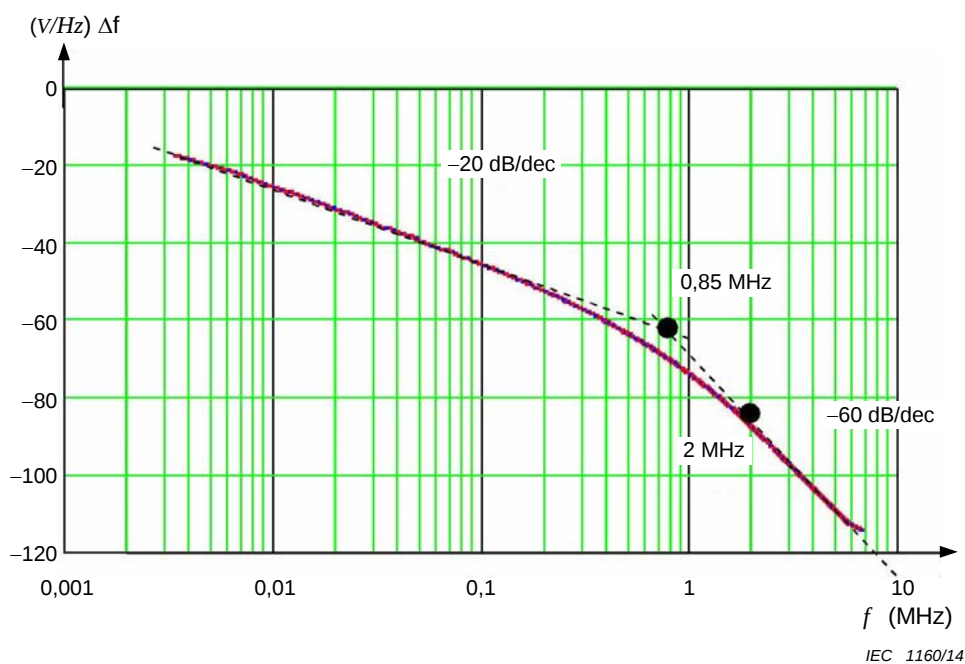


Figure E.3 – Tension de choc (1,2/50 μs): réponse spectrale, $\Delta f = 3,333 \text{ kHz}$

L'impulsion de tension dans le domaine temporel est bien reconstruite pour les fréquences jusqu'à 2 MHz, par conséquent la largeur de bande associée est $BW = 2 \text{ MHz}$.

E.3 Courant d'onde de choc normalisé dans le domaine temporel (8/20 μs)

L'expression du courant d'onde de choc normalisé dans le domaine temporel 8/20 μs est donnée par

$$I_{\text{SURGE}}(t) = k_i \cdot \left[\frac{i_1}{k_{\text{SURGE}}} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}} \cdot e^{\frac{-t}{\tau_2}} \right] \quad (\text{E.2})$$

Les coefficients qui apparaissent dans l'Equation (E.2) ont les valeurs suivantes

$$k_i = 1 \quad \tau_1 = 47,52 \mu\text{s} \quad \tau_2 = 4,296 \mu\text{s} \quad i_1 = 0,939 \quad \eta_{\text{SURGE}} = 2,741$$

$$k_{\text{SURGE}} = e^{\frac{-\tau_1}{\tau_2} \cdot \left(\frac{\eta_{\text{SURGE}} \cdot \tau_2}{\tau_1} \right)^{\frac{1}{\eta_{\text{SURGE}}}}}$$

Le tracé du courant d'onde de choc 8/20 μs en fonction du temps est donné à la Figure E.4.

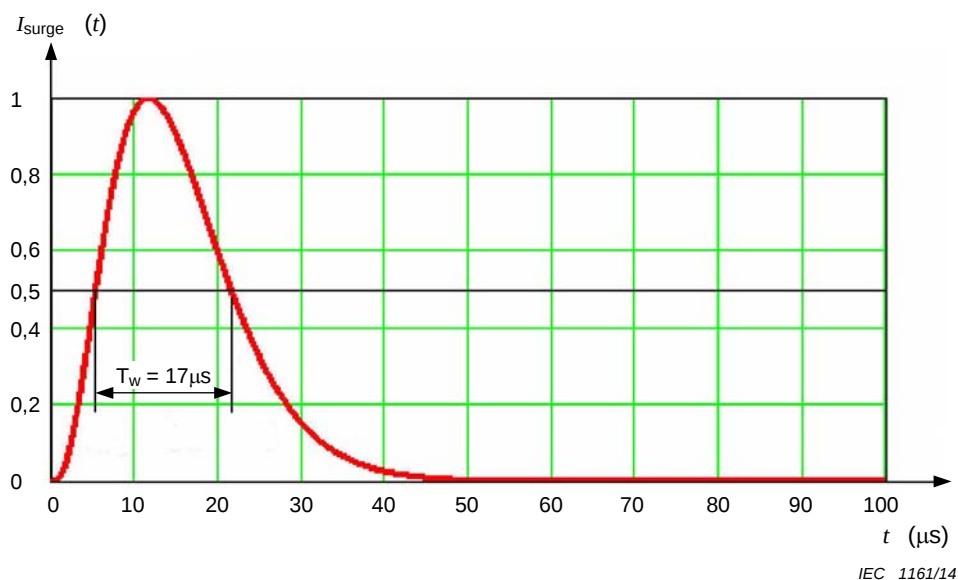


Figure E.4 – Courant de choc (8/20 μs): réponse dans l'intervalle de temps T_w

Un grossissement visant à mettre en évidence la réponse aux premiers instants, est tracé en Figure E.5.

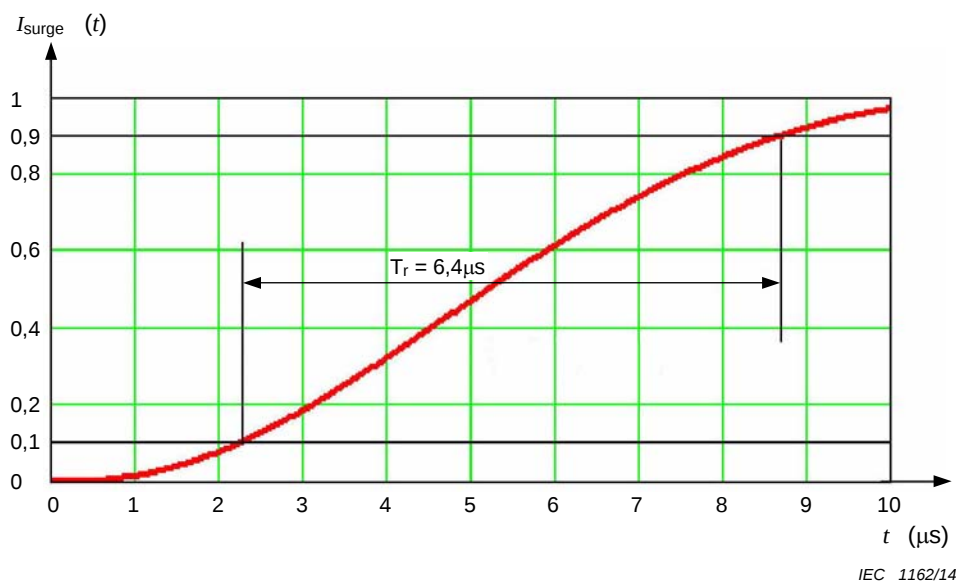


Figure E.5 – Courant de choc (8/20 μs): réponse de temps de montée T_r

L'amplitude de la réponse spectrale correspondant à l'Equation (E.2) est donnée en Figure E.6.

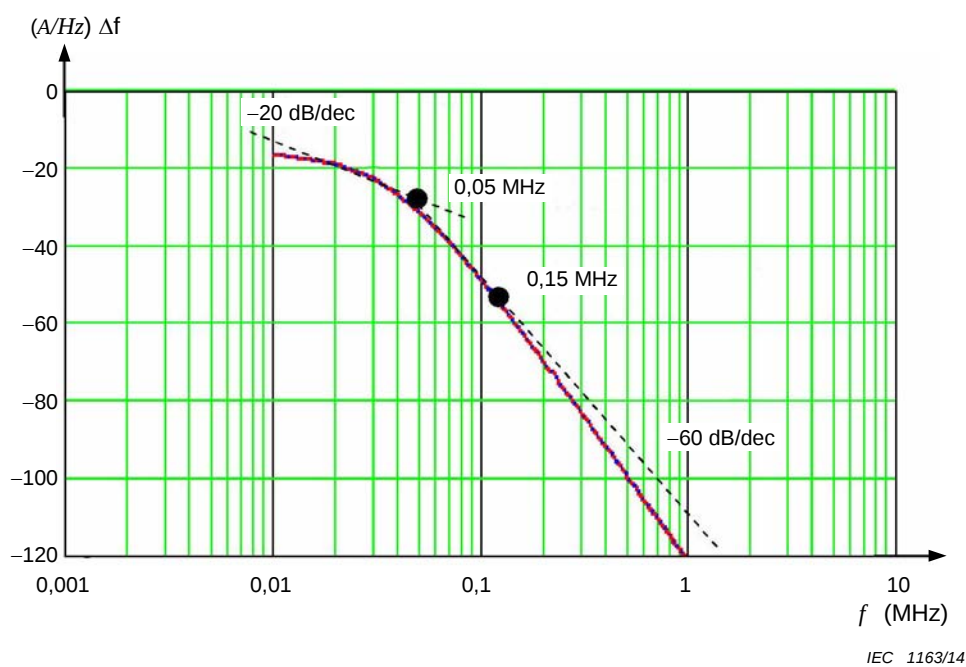


Figure E.6 – Courant de choc (8/20 μs): réponse spectrale, $\Delta f = 10 \text{ kHz}$

L'impulsion de courant dans le domaine temporel est bien simulée pour les fréquences jusqu'à 0,15 MHz, par conséquent la largeur de bande associée est $BW = 0,15 \text{ MHz}$.

E.4 Tension de choc normalisée dans le domaine temporel (10/700 μs)

L'expression de la tension d'onde de choc normalisée dans le domaine temporel 10/700 μs est donnée par

$$v_{\text{SURGE}}(t) = k_V \cdot \left[\frac{v_1}{k_{\text{SURGE}}} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}} \cdot e^{\frac{-t}{\tau_2}} \right] \quad (\text{E.3})$$

Les coefficients qui apparaissent dans l'Equation (E.3) ont les valeurs suivantes

$$k_V = 1 \quad \tau_1 = 2,574 \, \mu\text{s} \quad \tau_2 = 945,1 \, \mu\text{s} \quad v_1 = 0,937 \quad \eta_{\text{SURGE}} = 1,749$$

$$k_{\text{SURGE}} = e^{\frac{-\tau_1}{\tau_2} \left(\frac{\eta_{\text{SURGE}} \cdot \tau_2}{\tau_1} \right)^{\frac{1}{\eta_{\text{SURGE}}}}}$$

Le tracé de la tension d'onde de choc 10/700 μs en fonction du temps est donné à la Figure E.7.

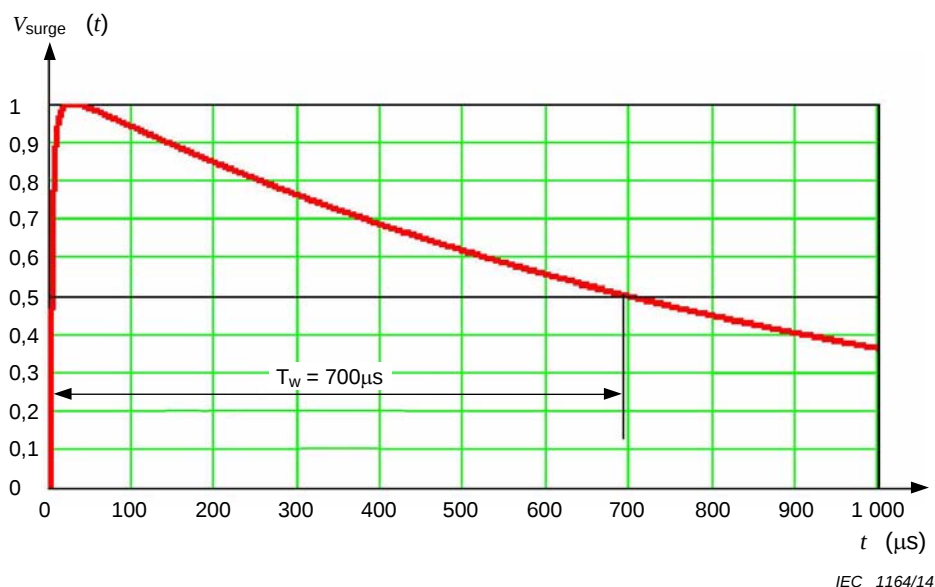


Figure E.7 – Tension de choc (10/700 μs): réponse dans l'intervalle de temps T_w

Un grossissement visant à mettre en évidence la réponse aux premiers instants, est tracé en Figure E.8.

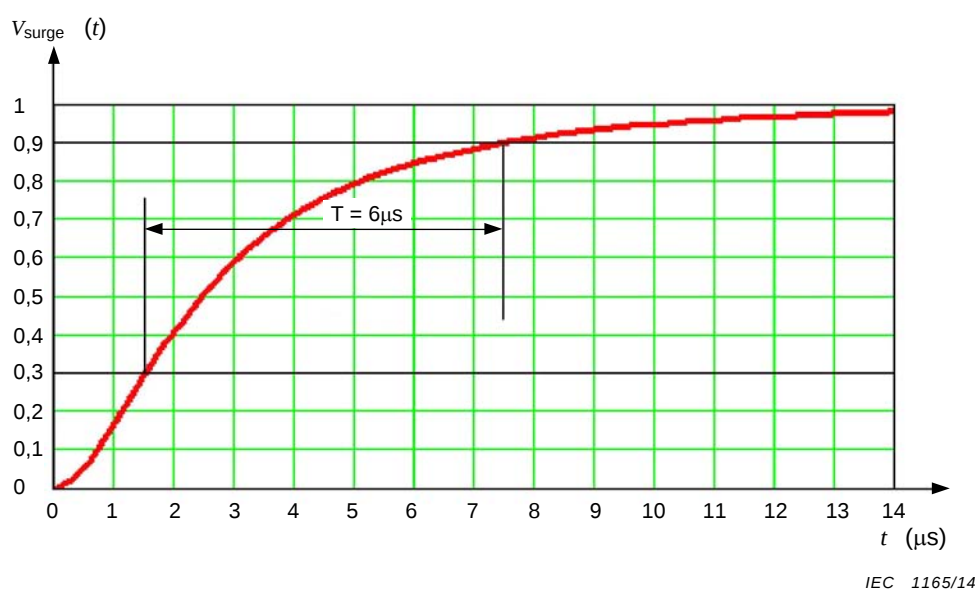


Figure E.8 – Tension de choc (10/700 μ s): réponse de temps de montée T

L'amplitude de la réponse spectrale correspondant à l'Equation (E.3) est donnée en Figure E.9.

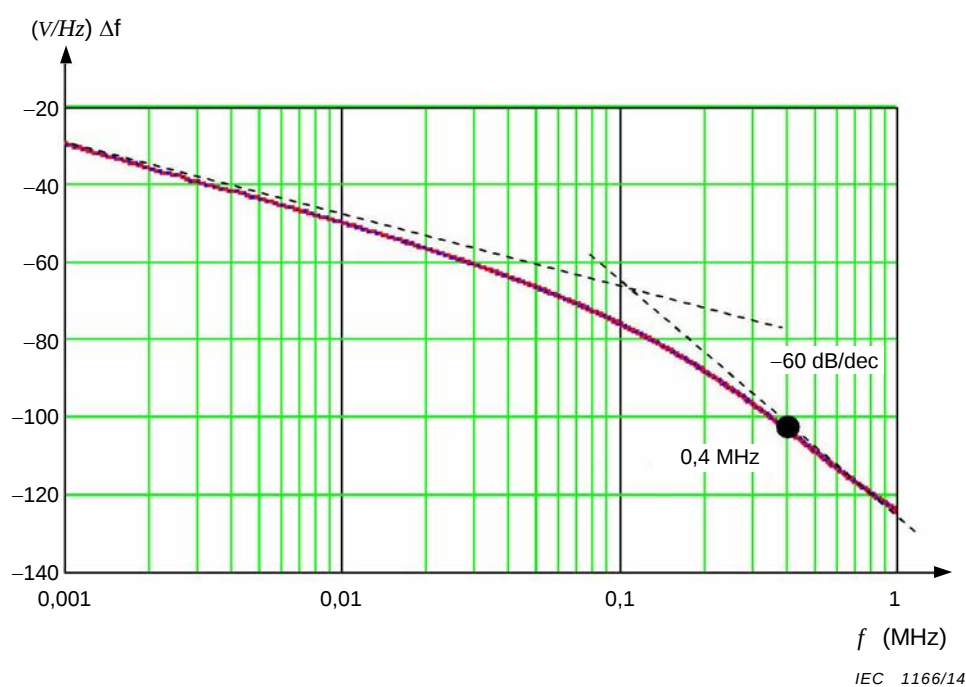


Figure E.9 – Tension de choc (10/700 μ s): réponse spectrale, $\Delta f = 0,2$ kHz

L'impulsion de tension dans le domaine temporel est bien reconstruite pour les fréquences jusqu'à 0,4 MHz, par conséquent la largeur de bande associée est $BW = 0,4$ MHz.

E.5 Courant de choc normalisé dans le domaine temporel (5/320 μ s)

L'expression du courant d'onde de choc normalisé dans le domaine temporel 5/320 μ s est donnée par

$$I_{\text{SURGE}}(t) = k_i \cdot \left[\frac{i_1}{k_{\text{SURGE}}} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{\eta_{\text{SURGE}}}} \cdot e^{-\frac{t}{\tau_2}} \right] \quad (\text{E.4})$$

Les coefficients qui apparaissent dans (E.4) ont les valeurs suivantes

$$k_i = 1 \quad \tau_1 = 1,355 \, \mu\text{s} \quad \tau_2 = 429,1 \, \mu\text{s} \quad i_1 = 0,895 \quad \eta_{\text{SURGE}} = 1,556$$

$$k_{\text{SURGE}} = e^{\frac{-\tau_1}{\tau_2} \left(\frac{\eta_{\text{SURGE}} \cdot \tau_2}{\tau_1} \right)^{\frac{1}{\eta_{\text{SURGE}}}}}$$

Le tracé du courant d'onde de choc 5/320 μs en fonction du temps est donné à la Figure E.10.

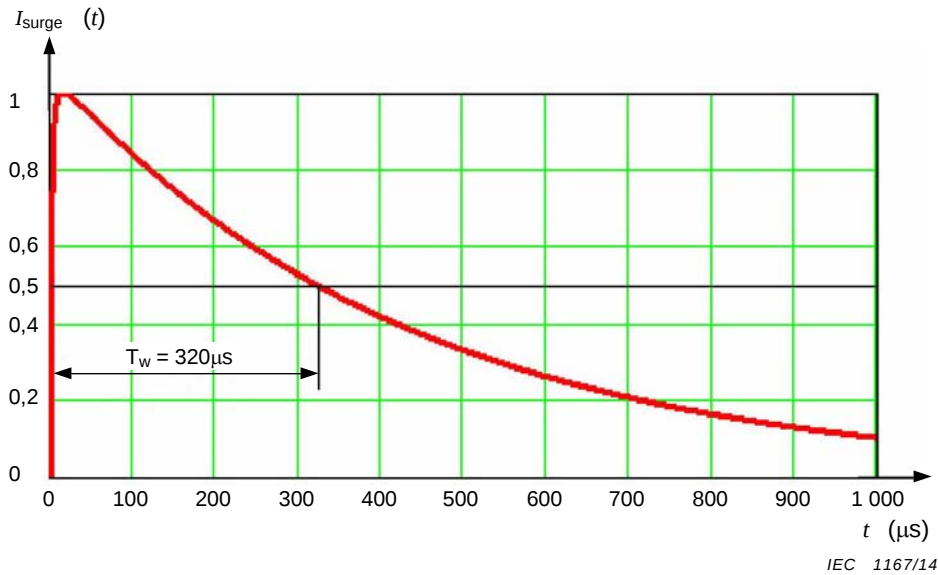


Figure E.10 – Courant de choc (5/320 μs): réponse dans l'intervalle de temps T_W

Un grossissement visant à mettre en évidence la réponse aux premiers instants, est tracé en Figure E.11.

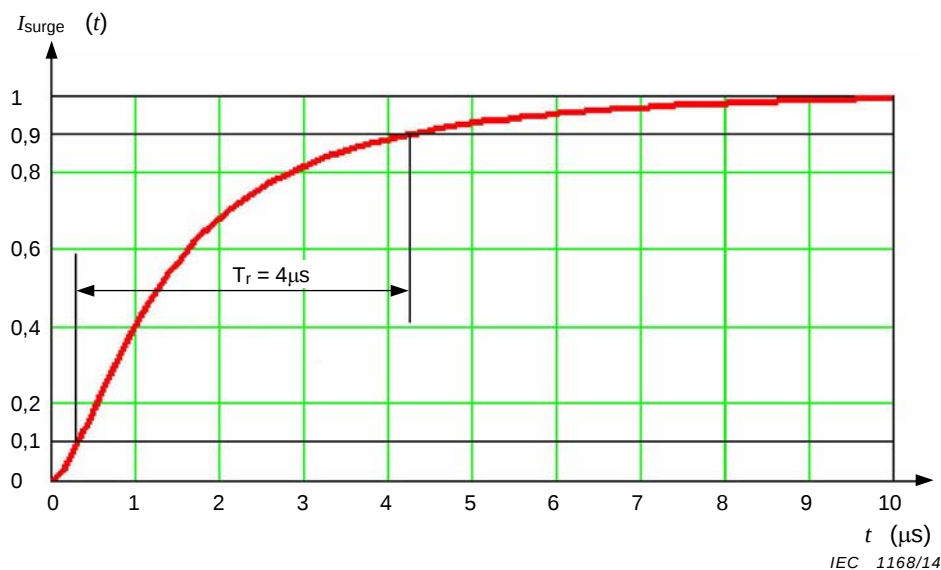


Figure E.11 – Courant de choc (5/320 μ s): réponse de temps de montée T_r

L'amplitude de la réponse spectrale correspondant à (E.4) est donnée en Figure E.12.

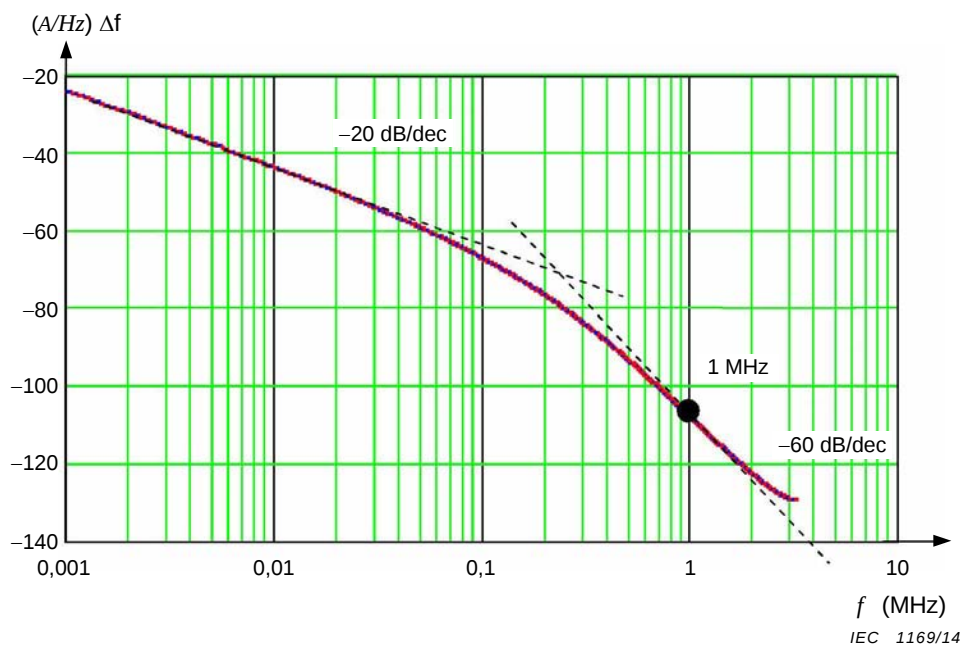


Figure E.12 – Courant de choc (5/320 μ s): réponse spectrale, $\Delta f = 0,4$ kHz

L'impulsion de courant dans le domaine temporel est bien simulée pour les fréquences jusqu'à 1 MHz, par conséquent la largeur de bande associée est $BW = 1$ MHz.

Annexe F (informative)

Considérations relatives à l'incertitude de mesure (MU)

F.1 Légende

V_P	crête de l'impulsion de tension en circuit ouvert
T_{fV}	durée du front de l'impulsion de tension en circuit ouvert $T_{fV} = 1,67$
T_V	temps de montée de l'impulsion de tension en circuit ouvert, défini comme la période comprise entre 30 % et 90 % de la valeur de crête
T_{rV}	temps de montée de l'impulsion de tension en circuit ouvert, défini comme la période comprise entre 10 % et 90 % de la valeur de crête: $T_{rV} = 0,80$ $T_{fV} = 1,33$ T_V
T_w	largeur de l'impulsion de tension en circuit ouvert
I_P	crête de l'impulsion de courant de court-circuit
T_{fI}	durée du front de l'impulsion de courant de court-circuit: $T_{fI} = 1,25$ T_{rI}
T_{rI}	temps de montée de l'impulsion de courant de court-circuit, défini comme la période comprise entre 10 % et 90 % de la valeur de crête
T_d	durée de l'impulsion de courant de court-circuit

NOTE La signification et les relations entre les symboles $u(x_i)$, c_i , $u_i(y)$, $u_c(y)$, $U(y)$ et y sont expliquées dans l'IEC/TR 61000-1-6.

F.2 Généralités

La conformité de la grandeur de perturbation réalisée avec la grandeur de perturbation spécifiée par la présente norme est habituellement confirmée par un ensemble de mesures (par exemple mesure du temps de montée d'une impulsion avec un oscilloscope en utilisant des atténuateurs). Le résultat de chaque mesure comprend une certaine incertitude de mesure (MU) due à l'imperfection des instruments de mesure ainsi qu'au manque de répétabilité du mesurande lui-même. Dans le cas présent, l'incertitude de mesure est évaluée en fonction des principes et méthodes décrits dans l'IEC/TR 61000-1-6.

Afin d'évaluer l'incertitude de mesure, il est nécessaire:

- a) d'identifier les sources d'incertitude, liées à la fois aux instruments de mesure et au mesurande,
- b) d'identifier la relation fonctionnelle (modèle de mesure) entre les grandeurs d'influence (entrée) et la grandeur mesurée (sortie),
- c) d'obtenir une estimation et l'incertitude type des grandeurs d'entrée,
- d) d'obtenir une estimation de l'intervalle comprenant, avec un niveau élevé de confiance, la valeur vraie du mesurande.

De plus amples informations sont données dans l'IEC/TR 61000-1-6.

Pour les essais d'immunité, les estimations et les incertitudes sont évaluées pour les paramètres de la grandeur de perturbation (par exemple, temps de montée, crête et durée). De ce fait, ils décrivent le degré d'accord de la grandeur de perturbation avec les spécifications correspondantes de la présente norme fondamentale.

Ces estimations et incertitudes, dérivées d'une grandeur particulière de perturbation ne décrivent pas le degré d'accord entre le phénomène électromagnétique simulé, comme défini

dans la norme fondamentale, et le phénomène électromagnétique réel dans le monde, en dehors du laboratoire.

Etant donné que l'effet sur l'EUT des paramètres de la grandeur de perturbation est inconnu a priori et que dans la plupart des cas, l'EUT n'a pas un comportement linéaire, des nombres uniques d'estimation et d'incertitude ne peuvent être définis pour la grandeur de perturbation. Par conséquent, chacun des paramètres de la grandeur de perturbation est associé à l'estimation et à l'incertitude correspondantes. Cela conduit à plusieurs budgets d'incertitude.

F.3 Contributeurs à l'incertitude de mesure de l'onde de choc

La liste suivante présente les contributeurs utilisés pour évaluer à la fois l'influence des instruments de mesure et du montage d'essai:

- relevé de lecture de la valeur de crête
- relevé de lecture du niveau de 10 % (ou 30 %)
- relevé de lecture du niveau de 90 %
- relevé de lecture du niveau de 50 %
- largeur de bande du système de mesure
- forme de la réponse d'impulsion du système de mesure
- erreur de mesure de l'axe horizontal de l'oscilloscope
- erreur de mesure de l'axe vertical de l'oscilloscope
- répétabilité en termes de système de mesure, mesurande et montage (type A)
- étalonnage de l'oscilloscope et du système de mesure

F.4 Incertitude de l'étalonnage de l'onde de choc

F.4.1 Généralités

Dans le cas de l'essai d'ondes de choc, les grandeurs de perturbation sont la tension de choc et le courant de choc générés par le générateur d'ondes de choc et appliqués à l'EUT. Comme étudié en F.2, un budget d'incertitude pour chaque paramètre mesuré de la grandeur de perturbation est requis. Les paramètres de ces grandeurs de perturbation sont V_P , T_{fV} et T_W pour la tension en circuit ouvert et I_P , T_{fI} et T_d pour le courant de court-circuit.

Ici, l'approche adoptée pour évaluer l'incertitude de mesure d'impulsion est décrite en F.4.6 et F.4.7. Les Tableaux F.1, F.2 et F.3 fournissent des exemples de budgets d'incertitude pour les paramètres d'onde de choc. Les tableaux comprennent les grandeurs d'entrée qui sont considérées les plus significatives pour ces exemples, les détails (valeurs numériques, type de fonction de densité de probabilité, etc.) de chacun des contributeurs à l'incertitude de mesure et les résultats des calculs exigés pour déterminer chaque budget d'incertitude.

F.4.2 Durée du front de la tension de choc en circuit ouvert

Le mesurande est la durée du front de la tension de choc en circuit ouvert calculée en utilisant la relation fonctionnelle

$$T_{fV} = 125 \sqrt{[133(T_{90\%} - T_{30\%} + \delta R)]^2 - T_{MS}^2}$$

où

$$T_{MS} = \frac{\alpha}{B} \quad (F.1)$$

et:

$T_{30\%}$	temps à 30 % de l'amplitude de crête
$T_{90\%}$	temps à 90 % de l'amplitude de crête
δR	correction pour non répétabilité
T_{MS}	temps de montée de la réponse échelonnée du système de mesure (10 % à 90 %)
B	largeur de bande de –3 dB du système de mesure
α	coefficient dont la valeur est $(360 \pm 40) \mu\text{s} \cdot \text{kHz}$ (B en kHz et T_{MS} en μs)

Tableau F.1 – Exemple de budget d'incertitude pour la durée du front de la tension de choc en circuit ouvert (T_{fv})

Symbole	Estimation	Unité	Limite d'erreur	Unité	PDF ^a	Diviseur	$u(x_i)$	c_i	Unité	$u_i(y)$	Unité
$T_{30\%}$	0,25	μs	0,005 0	μs	triangulaire	2,45	0,002 0	–2,08	1	0,004 3	μs
$T_{90\%}$	1,15	μs	0,005 0	μs	triangulaire	2,45	0,002 0	2,08	1	0,004 3	μs
δR	0	μs	0,025	μs	normale ($k=1$)	1,00	0,025	2,08	1	0,052	μs
α	360	$\mu\text{s} \cdot \text{kHz}$	40	$\mu\text{s} \cdot \text{kHz}$	rectangulai re	1,73	23,1	–0,001 9	1/kHz	0,043	μs
B	500	kHz	50	kHz	rectangulai re	1,73	28,9	0,001 4	$\mu\text{s}/\text{kHz}$	0,039	μs
							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0,08	μs
							$U(y) = 2 u_c(y)$			0,16	μs
							y			1,20	μs

^a Fonction de densité de probabilité (probability density function).

$T_{30\%}$, $T_{90\%}$: est le temps relevé à 30 % ou 90 % de l'amplitude de crête. La limite d'erreur est obtenue en supposant une fréquence d'échantillonnage de 100 MS/s et la capacité d'interpolation du tracé par l'oscilloscope (fonction de densité de probabilité triangulaire). Si tel n'était pas le cas, il convient de supposer une fonction de densité de probabilité rectangulaire. Seul le contributeur à l'incertitude de mesure est pris en considération ici en raison de la fréquence d'échantillonnage, pour de plus amples informations sur les contributeurs voir F.4.5. Les relevés de lecture sont supposés être $T_{30\%} = 0,25 \mu\text{s}$ et $T_{90\%} = 1,15 \mu\text{s}$.

T_{MS} : est le temps de montée calculé de la réponse échelonnée du système de mesure. Le coefficient α (voir F.1) dépend de la forme de la réponse impulsionnelle du système de mesure. La gamme $(360 \pm 40) \mu\text{s} \cdot \text{kHz}$ est représentative d'une large catégorie de systèmes, chacun ayant une forme différente de réponse impulsionnelle (voir F.4.6 et Tableau F.4). La largeur de bande B du système de mesure peut être obtenue de façon expérimentale (mesure directe de la largeur de bande) ou calculée à partir de la largeur de bande B_i de chacun des éléments du système de mesure (principalement une sonde de tension, un câble et un oscilloscope) en utilisant l'équation suivante:

$$\frac{1}{B} = \sqrt{\left(\frac{1}{B_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{B_2}\right)^2 + \dots}$$

Pour B , on suppose une estimation à 500 kHz et une limite d'erreur de 50 kHz d'une fonction de densité de probabilité rectangulaire.

δR : est la non répétabilité du temps de montée de 30 % à 90 %. Elle quantifie le manque de répétabilité de la mesure de $T_{90\%} - T_{30\%}$, du fait des instruments de mesure, de la configuration du montage de mesure et du générateur d'ondes de choc lui-même. Elle est déterminée de façon expérimentale. Il s'agit d'une évaluation de type A basée sur la formule de l'écart-type expérimental $s(q_k)$ d'un échantillon de n mesures répétées q_j et donnée par

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2}$$

où $\bar{q}$ est la moyenne arithmétique des valeurs q_j . Une limite d'erreur $s(q_k) = 25$ ns (1 écart-type d'une fonction de densité de probabilité normale) et une estimation de 0 ns sont supposées.

NOTE Pour le courant de court-circuit, le budget peut être obtenu de la même façon. Dans ce cas, T_{MS} comprend la largeur de bande de la sonde de courant à la place de la sonde de tension. En outre, la relation fonctionnelle est modifiée comme suit:

$$T_{fV} = 1,25 \sqrt{(T_{90\%} - T_{10\%} + \delta R)^2 - T_{MS}^2}$$

F.4.3 Crête de tension de choc en circuit ouvert

Le mesurande est la crête de la tension de choc en circuit ouvert calculée en utilisant la relation fonctionnelle

$$V_p = \frac{V_{PR}(1 + \delta R + \delta V)}{1 - \left(\frac{\beta}{B}\right)^2} A$$

où

V_{PR}	relevé de lecture de la crête de tension
A	atténuation en c.c. de la sonde de tension
δR	correction pour non répétabilité
δV	précision verticale en c.c. de l'oscilloscope
B	largeur de bande de -3 dB du système de mesure
β	coefficient dont la valeur est $(12,7 \pm 1,4)$ kHz

Tableau F.2 – Exemple de budget d'incertitude pour la valeur de crête de la tension de choc en circuit ouvert (V_p)

Symbole	Estimation	Unité	Limite d'erreur	Unité	PDF ^a	Diviseur	$u(x_i)$	c_i	Unité	$u_i(y)$	Unité
V_{PR}	3,84	V	0,007 5	V	triangulaire	2,45	0,003 1	1001	1	3,06	V
A	1000	1	50	1	rectangulaire	1,73	28,9	3,84	V	111	V
δR	0	1	0,03	1	normale ($k = 1$)	1,00	0,03	$3,84 \times 10^3$	V	115	V
δV	0	1	0,02	1	rectangulaire	1,73	0,012	$3,84 \times 10^3$	V	44,4	V
β	12,7	kHz	1,4	kHz	rectangulaire	1,73	0,81	0,38	V/kHz	0,32	V
B	500	kHz	50	kHz	rectangulaire	1,73	28,9	-	V/kHz	0,29	V
							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0,166	kV
							$U(y) = 2 u_c(y)$			0,33	kV
							y			3,84	kV
							Exprimé en % de 3,84 kV			8,6	%

^a Fonction de densité de probabilité (probability density function).

V_{PR}: est le relevé de lecture de la crête de tension. La limite d'erreur est obtenue en supposant que l'oscilloscope a une résolution verticale de 8 bits avec une capacité d'interpolation (fonction de densité de probabilité triangulaire).

A: est l'atténuation en c.c. de la sonde de tension. On suppose une valeur estimée de 1 000 et une limite d'erreur de 5 % (fonction de densité de probabilité rectangulaire).

δR: quantifie la non répétabilité du montage, de la configuration et des instruments de mesure. Il s'agit d'une évaluation de type A quantifiée par l'écart-type expérimental d'un échantillon de mesures répétées de la tension de crête. Il est exprimé en termes relatifs et on suppose une estimation de 0 % et une limite d'erreur de 3 % (1 écart-type).

δV: quantifie l'imprécision de la mesure d'amplitude de l'oscilloscope en c.c. Une limite d'erreur de 2 % d'une fonction de densité de probabilité rectangulaire et une estimation de 0 sont supposées.

β: est un coefficient qui dépend de la forme de la réponse impulsionnelle du système de mesure et de la forme d'onde impulsionnelle normalisée au voisinage de la crête (voir F.4.7). L'intervalle (12,7 ± 1,4) kHz est représentatif d'une large catégorie de systèmes, chacun ayant une forme différente de réponse impulsionnelle.

B: voir F.4.2., même signification et mêmes valeurs pour l'estimation et la limite d'erreur.

NOTE Pour le courant de court-circuit, le budget peut être obtenu de la même façon. Dans ce cas, *B* comprend la largeur de bande de la sonde de courant à la place de la sonde de tension. En outre, le paramètre *β* est modifié conformément au Tableau F.5 en F.4.7.

F.4.4 Durée de la tension de choc en circuit ouvert

Le mesurande est la durée de la tension de choc en circuit ouvert calculée en utilisant la relation fonctionnelle

$$T_W = (T_{50\%,F} - T_{50\%,R} + \delta R) \cdot \left[1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2 \right]$$

où

$T_{50\%,R}$	temps à 50 % de l'amplitude de crête au front montant de l'onde de choc
$T_{50\%,F}$	temps à 50 % de l'amplitude de crête au front descendant de l'onde de choc
δR	correction pour non répétabilité
B	largeur de bande de -3 dB du système de mesure
β	coefficient dont la valeur est (12,7 ± 1,4) kHz

Tableau F.3 – Exemple de budget d'incertitude pour la durée de la tension de choc en circuit ouvert (T_d)

Symbole	Estimation	Unité	Limite d'erreur	Unité	PDF ^a	Diviseur	$u(x_i)$	c_i	Unité	$u_i(y)$	Unité
$T_{50\%,R}$	0,5	μs	0,005 0	μs	triangulaire	2,45	0,002 0	-1,00	μs	0,002 0	μs
$T_{50\%,F}$	51,2	μs	0,005 0	μs	triangulaire	2,45	0,002 0	1,00	μs	0,002 0	μs
δR	0	μs	0,15	μs	normale ($k=1$)	1,00	0,15	1,00	μs	0,15	μs
β	12,7	kHz	1,4	kHz	rectangulaire	1,73	0,81	0,005 2	μs/kHz	0,004 2	μs
B	500	kHz	50	kHz	rectangulaire	1,73	28,9	0,000 1 3	μs/kHz	0,003 8	μs
							$u_r(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0,15	μs
							$\bar{U}(y) = 2 u_r(y)$			0,3	μs
							Y			50,7	μs

^a Fonction de densité de probabilité (probability density function).

$T_{50\%,R}$, $T_{50\%,F}$: est le relevé de lecture du temps à 50 % de l'amplitude de crête au front montant ou descendant de la tension de choc en circuit ouvert. La limite d'erreur est obtenue en supposant une fréquence d'échantillonnage de 100 MS/s (la même qu'en F.4.2) et une capacité d'interpolation du tracé par l'oscilloscope (fonction de densité de probabilité triangulaire). Si tel n'était pas le cas, il convient de supposer une fonction de densité de probabilité rectangulaire. Seul le contributeur à l'incertitude de mesure est pris en considération ici en raison de la fréquence d'échantillonnage. Pour de plus amples informations sur les contributeurs, voir F.4.5. Les relevés de lecture sont supposés être $T_{50\%,R} = 0,5 \mu s$ et $T_{50\%,F} = 51,2 \mu s$.

δR : quantifie la non répétabilité de la mesure de différence temporelle $T_{50\%,F} - T_{50\%,R}$ du fait des instruments de mesure, de la configuration du montage de mesure et du générateur d'ondes de choc lui-même. Elle est déterminée de façon expérimentale. Il s'agit d'une évaluation de type A basée sur l'écart-type expérimental d'un échantillon de mesures répétées. Une limite d'erreur $s(q_k) = 150 \text{ ns}$ (1 écart-type d'une fonction de densité de probabilité normale) et une estimation de 0 ns sont supposées.

β : voir F.4.3, même signification et mêmes valeurs pour l'estimation et la limite d'erreur.

B : voir F.4.2, même signification et mêmes valeurs pour l'estimation et la limite d'erreur.

NOTE Pour la durée T_d du courant de court-circuit, le budget peut être obtenu de la même façon. Dans ce cas, B comprend la largeur de bande de la sonde de courant à la place de la sonde de tension. En outre, le paramètre β est modifié conformément au Tableau F.5 en F.4.7 et la relation fonctionnelle est

$$T_d = 118 \cdot (T_{50\%,F} - T_{50\%,R} + \delta R) \cdot \left[1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2 \right]$$

F.4.5 Autres contributeurs à l'incertitude de mesure pour les mesures de temps et d'amplitude

Erreur et instabilité de la base de temps: les spécifications de l'oscilloscope peuvent être prises comme des limites d'erreur de fonctions de densité de probabilité rectangulaire. En général, ces contributions sont négligeables.

Résolution verticale: la contribution dépend de la résolution verticale d'amplitude ΔA et de la pente du tracé dA/dt . L'incertitude est liée à la moitié de la largeur de la résolution et elle est $(\Delta A/2)/(dA/dt)$. Si l'interpolation du tracé est réalisée (voir le manuel de l'oscilloscope), une fonction de densité de probabilité triangulaire est utilisée, sinon une fonction de densité de probabilité rectangulaire est utilisée. Cette contribution peut ne pas être négligeable, quand $|dA/dt| < (\Delta A/T_i)$, où T_i est l'intervalle d'échantillonnage de l'oscilloscope.

Décalage en continu: Le décalage en continu de l'oscilloscope contribue à l'incertitude de mesure de la crête de tension, si la crête est mesurée depuis la ligne continue nominale de zéro de l'oscilloscope. Cette contribution peut être ignorée, si le logiciel d'affichage de l'oscilloscope mesure la crête depuis la ligne d'impulsion de base.

F.4.6 Distorsion du temps de montée en raison de la largeur de bande limitée du système de mesure

La distorsion du temps de montée est évaluée par la règle habituelle de combinaison des temps de montée, qui est valable quand deux systèmes sans interaction sont branchés en cascade et que leurs réponses à un échelon augmentent de façon monotone (voir Elmore)

$$T_{rd} = \sqrt{T_r^2 + T_{MS}^2} \quad (F.2)$$

où T_{rd} est le temps de montée du signal à la sortie du système de mesure (temps de montée déformé), T_r est le temps de montée du signal à l'entrée du système de mesure et T_{MS} est le temps de montée de la réponse échelonnée du système de mesure. Il est important d'observer que la dérivation de l'Equation (F.2) est basée sur la définition suivante du temps de montée (voir Elmore).

$$T_{MS} = \sqrt{2\pi \int_0^{\infty} (t - T_s)^2 h_0(t) dt} \quad (F.3)$$

où $h_0(t)$ est la réponse impulsionnelle du système de mesure ayant une aire normalisée, c'est-à-dire $\int_0^{\infty} h_0(t) dt = 1$, et T_s est le temps de retard obtenu par

$$T_s = \int_0^{\infty} t h_0(t) dt \quad (F.4)$$

L'Equation (F.3) est beaucoup plus facile à traiter, d'un point de vue mathématique, que l'équation habituelle basée sur les niveaux de seuil de 10 % et 90 %. Cependant, dans les applications techniques, les temps de montée de 10 % et 90 % sont en général combinés par l'équation (F.2). Compte tenu de la largeur de bande du système, les deux définitions conduisent à des temps de montée comparables. En effet, si l'on définit

$$\alpha = T_{MS} \cdot B \quad (F.5)$$

On trouve que les valeurs de α dérivées des deux définitions du temps de montée ne diffèrent pas beaucoup. Les valeurs de α , correspondant aux différentes formes de la réponse impulsionnelle $h(t)$, sont données dans le Tableau F.4. Il est évident à partir du Tableau F.4 qu'il n'est pas possible d'identifier une valeur unique de α puisque α dépend à la fois de la définition du temps de montée retenue (par exemple, basée sur les seuils ou sur l'Equation (F.3)) et de la forme de la réponse impulsionnelle du système de mesure. Une estimation raisonnable de α peut être obtenue, avec la moyenne arithmétique entre les valeurs minimum (321×10^{-3}) et maximum (399×10^{-3}) qui sont présentées dans le Tableau 1, c'est-à-dire 360×10^{-3} . Par ailleurs, on peut supposer que sans autres informations disponibles sur le système de mesure en dehors de sa largeur de bande, toute valeur de α comprise entre 321×10^{-3} et 399×10^{-3} est également probable. Pour l'exprimer

autrement, α est supposé être une variable aléatoire ayant une fonction de densité de probabilité rectangulaire avec des limites inférieures et supérieures de 321×10^{-3} et 399×10^{-3} , respectivement. Cette incertitude type de α quantifie à la fois: a) l'indifférence au modèle mathématique retenu pour la définition du temps de montée et b) l'indifférence à la forme de la réponse impulsionnelle du système.

Tableau F.4 – Facteur α , Equation (F.5), de différentes réponses impulsionnelles unidirectionnelles correspondant à la même largeur de bande du système B

Valeurs de α multipliées par 10^3	Gaussien	Ordre I	Ordre II (amort. crit.)	Rectangulaire	Triangulaire
α : Equation (F.3)	332	399	363	321	326
α : 10 % à 90 %	339	350	344	354	353

F.4.7 Crête d'impulsion et distorsion de largeur du fait de la largeur de bande limitée du système de mesure

La forme d'onde d'impulsion déformée $V_{out}(t)$ à la sortie du système de mesure est donnée par l'intégrale de convolution

$$V_{out}(t) = \int_0^t V_{in}(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau \quad (F.6)$$

où $V_{in}(t)$ est la forme d'onde d'impulsion d'entrée et $h(t)$ est la réponse impulsionnelle du système de mesure. A noter que $A \cdot h(t) = h_0(t)$, où A est l'atténuation en c.c. du système de mesure. La forme d'onde d'entrée peut être approchée par un développement par série de Taylor sur l'instant t_p lorsque l'entrée atteint sa valeur de crête V_p

$$V_{in}(t) = V_p + \frac{V_{in}''(t_p)}{2} \cdot (t - t_p)^2 + \frac{V_{in}'''(t_p)}{6} \cdot (t - t_p)^3 + \dots \quad (F.7)$$

A noter que le terme du premier ordre est absent de (F.7) puisque $V'(t_p) = 0$. De plus, $V_{in}''(t_p) < 0$ en raison des descentes (maximum) de points de concavité et $V_{in}'''(t_p) > 0$, du fait que – pour les formes d'ondes normalisées étudiées ici – le temps de montée est inférieur au temps de descente. En remplaçant (F.7) par (F.6) et en procédant à des simplifications, valables lorsque la largeur de bande du système de mesure est grande par rapport à la largeur de bande du signal d'entrée (de sorte que les termes de série exponentielle dont l'ordre est supérieur à deux sont négligeables), on obtient

$$V_{pd} = \frac{V_p}{A} \left[1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2 \right] \quad (F.8)$$

où V_{pd} est la crête d'impulsion de sortie, A est l'atténuation en c.c. du système de mesure et

$$\beta = \alpha \cdot \sqrt{\frac{V_{in}''(t_p)}{4\pi V_p}} \quad (F.9)$$

A noter que le paramètre β dépend de la dérivée seconde de la forme d'onde d'entrée normalisée et du paramètre α défini et déduit en F.4.6. Etant donné que l'expression

mathématique des formes d'ondes de choc normalisées est donnée dans l'Annexe F de la présente norme, la valeur de β peut être calculée numériquement et est indiquée dans le Tableau F.5.

L'estimation de la distorsion de la largeur d'impulsion d'entrée T_W est obtenue simplement en considérant que l'aire de l'impulsion de sortie correspond à l'impulsion d'entrée divisée par l'atténuation en c.c. A. Par conséquent

$$V_p T_W = A V_{pd} T_{wd} \quad (F.10)$$

où T_{wd} est la largeur d'impulsion de sortie. D'où

$$T_{wd} = \frac{V_p}{A V_{pd}} \cdot T_W = \frac{1}{1 - \left(\frac{\beta}{B}\right)^2} \cdot T_W \quad (F.11)$$

Tableau F.5 – Facteur β , Equation (F.9), des formes d'ondes de choc normalisées

kHz	1,2/50 μ s	8/20 μ s	10/700 μ s	5/320 μ s
β	12,7 $\pm$ 1,4	14,8 $\pm$ 1,6	1,05 $\pm$ 0,11	2,00 $\pm$ 0,22

F.5 Application des incertitudes au critère de conformité du générateur d'ondes de choc

En général, afin d'avoir confiance en ce que le générateur correspond à ses spécifications, il convient que les résultats de l'étalonnage soient compris dans les limites spécifiées de la présente norme (les tolérances ne sont pas réduites par l'incertitude de mesure). L'Article 6 de l'IEC/TR 61000-1-6:2012 fournit de plus amples recommandations.

Annexe G (informative)

Méthode d'étalonnage des systèmes de mesure d'impulsion

G.1 Généralités

L'étalonnage du générateur exige l'utilisation d'un système de mesure qui, malheureusement, introduit une distorsion de la forme d'onde de choc mesurée. La distorsion est une fonction de l'impulsion appliquée et des caractéristiques du système de mesure utilisé.

Une estimation de la réponse du système de mesure à l'impulsion normalisée peut être obtenue à partir de l'intégrale de convolution (IEEE Std 4-1995 et IEC 60060-2). La méthode exige d'acquérir la réponse échelonnée expérimentale du système de mesure et ensuite, la distorsion induite à la forme d'onde de choc théorique par le système de mesure est évaluée par calcul numérique. Cela permet d'estimer l'effet de la réponse du système de mesure sur les paramètres de l'impulsion, c'est-à-dire le temps de montée, la valeur de crête et la durée. Les erreurs systématiques détectées peuvent être utilisées pour corriger les résultats de l'étalonnage, assurant ainsi une meilleure précision de l'étalonnage.

G.2 Estimation de la réponse du système de mesure utilisant l'intégrale de convolution

En théorie, la fonction de transfert du système de mesure utilisée pour l'étalonnage (transducteur plus oscilloscope) peut être déterminée en appliquant l'impulsion idéale de Dirac à l'entrée du système. La disponibilité de la fonction de transfert permet d'estimer la distorsion induite par le système de mesure. Soit $V_{in}(t)$ l'impulsion appliquée à l'entrée du système de mesure. L'impulsion à la sortie, $V_{out}(t)$, est calculée en utilisant l'intégrale de convolution:

$$V_{out}(t) = \int_0^t V_{in}(\tau) \cdot h_0(t - \tau) d\tau \quad (G.1)$$

où $h_0(t)$ est la réponse impulsionnelle normalisée du système de mesure, c'est-à-dire

$$\int_0^{\infty} h_0(t) dt = 1.$$

Etant donné qu'il est plus pratique de mesurer la réponse échelonnée que la réponse impulsionnelle du système de mesure, la réponse échelonnée expérimentale normalisée $g(t)$ est utilisée à la place de $h_0(t)$ et l'Equation G.1 est modifiée comme suit:

$$V_{out}(t) = \frac{d}{dt} \int_0^t V_{in}(\tau) \cdot g(t - \tau) d\tau \quad (G.2)$$

où $g(t) = \int_0^t h_0(\tau) d\tau$. Pour déterminer $g(t)$, le système de mesure est soumis à un échelon de

tension/courant et sa sortie est mesurée. Il convient que le temps de montée de l'échelon appliqué soit inférieur à 1/10 de la durée du front/temps de montée de l'impulsion (voir Tableau 2), car l'inévitable non-idéalité de la source échelonnée se propage à $V_{out}(t)$, et il apparaît donc comme une non-idéalité du système de mesure utilisé. De plus, en raison de

l'atténuation du transducteur, il convient que l'amplitude de l'échelon soit suffisamment élevée pour assurer à l'entrée de l'oscilloscope un signal d'une dynamique suffisante pour assurer une bonne précision.

L'Annexe E fournit un modèle mathématique des formes d'ondes de choc normalisées générées par les générateurs d'ondes combinées 1,2/50 µs et 10/700 µs. Ces formes d'ondes mathématiques peuvent être adoptées comme l'entrée $V_{in}(t)$. La sortie déformée correspondante $V_{out}(t)$ est calculée par l'Equation (G.2). En comparant $V_{in}(t)$ et $V_{out}(t)$, l'erreur systématique produite par le système de mesure sur les paramètres de la forme d'onde normalisée (temps de montée, valeur de crête et durée) est facilement détectée.

La méthode d'étalonnage implique l'utilisation d'un transducteur (diviseur de tension/courant) et d'un oscilloscope. Le transducteur et l'oscilloscope doivent avoir une largeur de bande et une capacité en tension/courant suffisantes pour supporter la forme d'onde de tension en circuit ouvert/de courant de court-circuit. Pour l'oscilloscope, une largeur de bande d'au moins 10 MHz et une fréquence d'échantillonnage de 100 MS/s sont requises.

G.3 Système de mesure d'impulsion pour une tension en circuit ouvert (1,2/50 µs, 10/700 µs)

Un signal d'échelon de tension est appliqué à l'entrée du diviseur de tension et la réponse échelonnée est enregistrée en utilisant un oscilloscope numérique à mémoire. Il convient que le générateur d'échelon de tension satisfasse aux exigences de G.1. La réponse échelonnée enregistrée est ensuite normalisée de sorte que le niveau de fonctionnement permanent soit l'unité. La réponse du système de mesure (diviseur de tension plus oscilloscope) $U_{out}(t)$ à la tension normalisée en circuit ouvert peut être calculée comme

$$U_{out}(t) = \frac{d}{dt} \int_0^t U_{in}(\tau) \cdot g_u(t - \tau) d\tau \quad (G.3)$$

où

$g_u(t)$ est la réponse échelonnée expérimentale normalisée du système de mesure de la tension

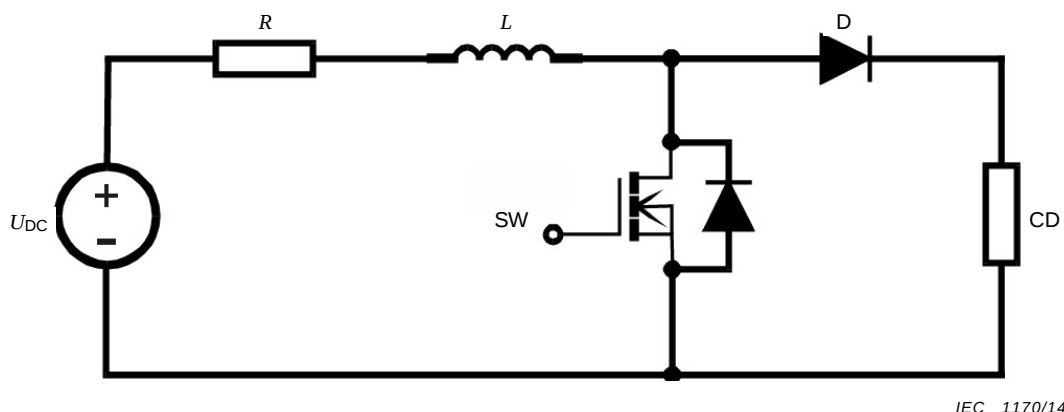
$U_{in}(t)$ est la forme d'onde normalisée de la tension en circuit ouvert

L'erreur systématique introduite par le système de mesure est évaluée en comparant $U_{in}(t)$ et $U_{out}(t)$. Le résultat de l'étalonnage de l'onde de choc est ensuite corrigé pour l'erreur systématique.

Le facteur d'échelle du diviseur de tension doit être évalué en c.c. afin d'étalonner la tension en circuit ouvert. Afin de réduire l'incertitude de mesure, il convient d'utiliser le même oscilloscope pour enregistrer la réponse échelonnée du système de mesure et pour étalonner le générateur d'ondes de choc. Etant donné que l'amplitude de tension de l'échelon est en général très inférieure à l'amplitude de tension de l'impulsion de choc, un changement de l'échelle verticale de l'oscilloscope (volt par division) est probablement nécessaire pendant la réalisation des deux mesures. La contribution à l'incertitude liée au changement d'échelle verticale de l'oscilloscope est négligeable si l'on utilise un oscilloscope numérique moderne à mémoire. Cependant, l'étalonnage traçable de l'échelle verticale de l'oscilloscope est recommandé, afin de pouvoir évaluer l'imprécision de l'échelle verticale selon le réglage volt par division retenu.

G.4 Système de mesure d'impulsion pour le courant de court-circuit (8/20 μ s, 5/320 μ s)

Un signal d'échelon de courant est appliqué à l'entrée du diviseur de courant et la réponse échelonnée est enregistrée en utilisant un oscilloscope numérique à mémoire. Un schéma de principe simplifié du circuit du générateur d'échelon de courant adapté est fourni à la Figure G.1. Il convient que le générateur d'échelon de courant satisfasse aux exigences spécifiées en G.1.



U_{DC} source de tension c.c. stabilisée, ajustable

R résistance limitant le courant

L inductance de stockage d'énergie

SW commutateur d'alimentation rapide

D diode d'alimentation rapide

CD diviseur de courant

Figure G.1 – Schéma de principe simplifié du circuit du générateur d'échelon de courant

La réponse échelonnée enregistrée est ensuite normalisée de sorte que le niveau de fonctionnement permanent soit l'unité. La réponse du système de mesure (diviseur de tension plus oscilloscope) $I_{out}(t)$ au courant normalisé de court-circuit peut être calculée comme:

$$I_{out}(t) = \frac{d}{dt} \int_0^t I_{in}(\tau) \cdot g_i(t - \tau) d\tau \quad (G.4)$$

où

$g_i(t)$ est la réponse échelonnée expérimentale normalisée du système de mesure du courant

$I_{in}(\tau)$ est la forme d'onde normalisée du courant de court-circuit

L'erreur systématique introduite par le système de mesure est évaluée en comparant $I_{in}(\tau)$ et $I_{out}(t)$. Le résultat de l'étalonnage de l'onde de choc est ensuite corrigé pour l'erreur systématique.

Il convient d'utiliser un shunt étalonné ou un transformateur de courant afin d'étalonner le courant de court-circuit. Afin de réduire l'incertitude de mesure, le même oscilloscope peut être utilisé pour enregistrer la réponse échelonnée du système de mesure et pour étalonner le générateur d'ondes de choc. Etant donné que l'amplitude de tension de l'échelon est en

général très inférieure à l'amplitude de tension de l'impulsion de choc, un changement de l'échelle verticale de l'oscilloscope (volt par division) est probablement nécessaire pendant la réalisation des deux mesures. La contribution à l'incertitude liée au changement d'échelle verticale de l'oscilloscope est négligeable si l'on utilise un oscilloscope numérique moderne à mémoire. Cependant, l'étalonnage traçable de l'échelle verticale de l'oscilloscope est recommandé, afin de pouvoir évaluer l'imprécision de l'échelle verticale selon le réglage volt par division retenu.

Annexe H (informative)

Ondes de choc de couplage/découplage appliquées à des lignes de valeurs assignées supérieures à 200 A

H.1 Généralités

Dans la mesure où les EUT à courant fort ont des impédances faibles qui peuvent charger le générateur d'ondes de choc, de sorte que la plupart de l'énergie de choc est absorbée dans l'impédance de sortie du générateur d'ondes de choc, une évaluation initiale peut être réalisée afin de déterminer:

- si l'essai d'onde de choc est significatif,
- si les sous-ensembles peuvent être soumis à essai individuellement,
- si les EUT peuvent être soumis à essai dans un mode consommant un courant inférieur (voir 6.3).

En général, les EUT à courant fort sont soumis à essai sur site.

Il convient de prendre en compte l'action des parafoudres intégrés. Les parafoudres ont une bonne performance quand l'onde de choc appliquée est suffisamment élevée pour les faire fonctionner. Les parafoudres absorbent en général la plupart de l'onde de choc. Si la tension de choc est inférieure au seuil d'allumage du parafoudre, la totalité de l'onde de choc s'écoule dans l'EUT.

H.2 Considérations en matière de couplage et découplage

Pour l'essai des EUT à courant fort pour lesquels aucun RCD du commerce n'est disponible, le montage suivant peut être utilisé:

- Le réseau de couplage présenté aux Figures 7 et 8 doit être utilisé.
- Le réseau de découplage peut consister en des bobines d'inductance uniques ou un câble d'alimentation suffisamment long pour fournir une inductance suffisante, en supposant qu'une longueur de fil de 1 m représente environ 1 µH. Les valeurs d'inductance recommandées sont indiquées dans le Tableau H.1. Il convient d'utiliser une bobine d'inductance unique ou un fil par ligne afin d'assurer un découplage en mode différentiel approprié.

Des éléments de découplage comme des condensateurs ou des MOV ou des combinaisons des deux peuvent ne pas être nécessaires dans le réseau de découplage.

**Tableau H.1 – Valeurs d'inductance recommandées
pour les lignes de découplage (> 200 A)**

Valeur assignée du courant de l'EUT	Inductance de découplage recommandée
200 A < valeur assignée du courant ≤ 400 A	200 µH à 100 µH
400 A < valeur assignée du courant ≤ 800 A	10 µH à 50 µH
800 A < valeur assignée du courant ≤ 1 600 A	50 µH à 25 µH
I [Ampère] < valeur assignée du courant ≤ $2 \times I$	L'inductance est réduite d'un facteur 2

H.3 Précautions supplémentaires

Lors des essais de systèmes d'alimentation triphasés, où l'EUT a une valeur de tension assignée supérieure à 415 V par phase, la tension d'alimentation peut endommager le générateur d'ondes de choc.

Les composants de couplage doivent avoir au moins la même valeur assignée de tension que l'EUT.

Bibliographie

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

IEC 60364-4-44, *Installations électriques à basse tension – Partie 4-44: Protection pour assurer la sécurité – Protection contre les perturbations de tension et les perturbations électromagnétiques*

IEC 60664-1, *Coordination de l'isolement des matériels dans les systèmes (réseaux) à basse tension – Partie 1: Principes, exigences et essais*

IEC/TR 61000-1-6:2012, *Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 1-6: General – Guide to the assessment of measurement uncertainty* (disponible en anglais seulement)

IEC 61000-4-4, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-4: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux transitoires électriques rapides en sèves*

IEC 61643 (toutes les parties), *Parafoudres basse tension*

IEC 61643-11, *Parafoudres basse tension – Partie 11: Parafoudres connectés aux réseaux de distribution basse tension – Exigences et méthodes d'essai*

IEC 61643-12, *Parafoudres basse tension – Partie 12: Parafoudres connectés aux réseaux de distribution basse tension – Principes de choix et d'application*

IEC 61643-21:2000, *Parafoudres basse tension – Partie 21: Parafoudres connectés aux réseaux de signaux et de télécommunications – Prescriptions de fonctionnement et méthodes d'essais*

Amendement 1:2008

Amendement 2:2012

IEC 62305-1, *Protection contre la foudre – Partie 1: Principes généraux*

IEEE Std 4-1995, *IEEE Standard Techniques for High-Voltage Testing* (disponible en anglais seulement)

IEEE Std C62.45-2002, *IEEE Recommended Practice on Surge Testing for Equipment Connected to Low-Voltage (1000 V and Less) AC Power Circuits* (disponible en anglais seulement)

ITU-T K.44, *Resistibility tests for telecommunication equipment exposed to overvoltages and overcurrents – Basic Recommendation* (disponible en anglais seulement)

W.C. Elmore, "The Transient Response of Damped Linear Networks with Particular Regard to Wideband Amplifiers" *Journal of Applied Physics*, vol. 19, no. 1, pp. 55-63, January 1948 (disponible en anglais seulement)

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