

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Electromagnetic compatibility (EMC) –
Part 4-18: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory wave
immunity test**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-18: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité à l'onde
oscillatoire amortie**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2019 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
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 corrigendum or an amendment might have been published.

IEC publications search - webstore.iec.ch/advsearchform

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 once a month by email.

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: sales@iec.ch.

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary on electrotechnology, containing more than 22 000 terminological entries in English and French, with equivalent terms in 16 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

67 000 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.

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.

Recherche de publications IEC -

webstore.iec.ch/advsearchform

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 une fois par mois par email.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire d'électrotechnologie en ligne au monde, avec plus de 22 000 articles terminologiques en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 16 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

67 000 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.

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



**Electromagnetic compatibility (EMC) –
Part 4-18: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory wave
immunity test**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-18: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité à l'onde
oscillatoire amortie**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.100.20

ISBN 978-2-8322-6707-3

**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.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms, definitions and abbreviated terms	9
3.1 Terms and definitions.....	9
3.2 Abbreviated terms.....	11
4 General	12
4.1 Types of damped oscillatory waves.....	12
4.2 Slow damped oscillatory wave phenomenon	13
4.3 Fast damped oscillatory wave phenomenon	14
4.3.1 General	14
4.3.2 Disturbances produced by switchgear and controlgear	14
4.3.3 Disturbances produced by high-altitude electromagnetic pulse (HEMP)	15
5 Test levels.....	15
6 Test instrumentation	16
6.1 General.....	16
6.2 Damped oscillatory wave generators.....	17
6.2.1 Slow damped oscillatory wave generator	17
6.2.2 Fast damped oscillatory wave generator	19
6.3 Coupling/decoupling networks.....	21
6.3.1 General	21
6.3.2 Coupling/decoupling networks for slow damped oscillatory waves	22
6.3.3 Coupling/decoupling networks for fast damped oscillatory waves.....	28
6.4 Calibration of coupling/decoupling networks.....	30
6.4.1 General	30
6.4.2 Calibration of CDNs for slow damped oscillatory waves	31
6.4.3 Calibration of CDNs for fast damped oscillatory waves	32
6.5 Capacitive coupling clamp for fast damped oscillatory waves.....	34
6.5.1 Characteristics of the capacitive coupling clamp	34
6.5.2 Calibration of the capacitive coupling clamp	35
7 Test setup	36
7.1 Test equipment	36
7.2 Verification of the test instrumentation	36
7.3 Test setup.....	37
7.3.1 General	37
7.3.2 Particular requirements for tests on shielded lines for slow damped oscillatory waves	39
7.3.3 Particular requirements for the test setup for fast damped oscillatory waves testing.....	40
7.4 Equipment under test.....	42
7.5 Coupling/decoupling networks.....	42
8 Test procedure	42
8.1 General.....	42
8.2 Laboratory reference conditions	42
8.2.1 Climatic conditions	42

8.2.2	Electromagnetic conditions	42
8.3	Execution of the test	43
9	Evaluation of test results	44
10	Test report.....	44
Annex A (informative)	Information on test levels for the damped oscillatory wave	46
Annex B (informative)	Measurement uncertainty (MU) considerations	47
B.1	General.....	47
B.2	Legend for damped oscillatory wave parameters.....	47
B.3	Uncertainty contributors to the damped oscillatory wave MU.....	48
B.4	Uncertainty of the output voltage and current measurement.....	48
B.4.1	General	48
B.4.2	Rise time of the 3 MHz damped oscillatory wave	48
B.4.3	Peak of the 3 MHz damped oscillatory wave	50
B.4.4	Further MU contributions to time measurements	51
B.4.5	Rise time of the step response and bandwidth of the frequency response of the measuring system.....	51
B.4.6	Impulse peak and width distortion due to the limited bandwidth of the measuring system.....	52
B.5	Application of uncertainties in the damped oscillatory waveform compliance criterion	53
Annex C (informative)	Issues relating to powering EUTs having DC/DC converters at the input	54
C.1	General.....	54
C.2	Considerations for remediation	55
Bibliography		57
Figure 1	– Example of waveform of the damped oscillatory wave	13
Figure 2	– Example of schematic circuit of the generator for the slow damped oscillatory wave	17
Figure 3	– Representation of a slow damped oscillatory wave.....	18
Figure 4	– Example of schematic circuit of the test generator for the fast damped oscillatory wave	19
Figure 5	– Representation of a fast damped oscillatory wave	20
Figure 6	– Selection of coupling/decoupling method for slow damped oscillatory waves.....	22
Figure 7	– Example of a CDN for capacitive coupling on AC/DC lines: line-to-ground coupling.....	23
Figure 8	– Example of a CDN for capacitive coupling on AC lines (three phases): line-to-ground coupling	23
Figure 9	– Example of a CDN for capacitive coupling on AC/DC lines: line-to-line coupling	24
Figure 10	– Example of a CDN for capacitive coupling on AC lines (three phases): line L2-to-line N coupling	24
Figure 11	– Example of a CDN for interconnection lines: line-to-ground coupling	25
Figure 12	– Example of a CDN for unshielded unsymmetrical interconnection lines: line-to-line and line-to-ground coupling	26
Figure 13	– Example of a CDN for unshielded symmetrical interconnection lines: line-to-ground coupling	27
Figure 14	– Example of a CDN for unshielded symmetrical interconnection lines: line-to-ground coupling via capacitors.....	28

Figure 15 – Example of CDN for AC/DC single-phase power supply: line-to-ground coupling	29
Figure 16 – Example of CDN for AC three-phase power supply: line-to-ground coupling	29
Figure 17 – Example of CDN for interconnection lines for fast damped oscillatory waves: line-to-ground coupling	30
Figure 18 – Example of a calibration setup of CDNs for AC/DC power ports for fast damped oscillatory waves	33
Figure 19 – Example of a calibration setup of CDNs for interconnection lines for fast damped oscillatory waves	33
Figure 20 – Example of a capacitive coupling clamp	35
Figure 21 – Transducer plate for coupling clamp calibration	35
Figure 22 – Calibration of a capacitive coupling clamp using the transducer plate	36
Figure 23 – Example of a verification setup of the capacitive coupling clamp	37
Figure 24 – Example of a test setup	39
Figure 25 – Example of test setup applied to shielded lines	40
Figure 26 – Example of test setup using a floor standing system of two EUTs	41
Figure C.1 – Example of the addition of a damping circuit to the CDN for DC/DC converter EUTs	55
Figure C.2 – Example of direct injection of damped oscillatory waves	56
Table 1 – Values of the parameters of $w(t)$ for each standard oscillation frequency	12
Table 2 – Test levels for the slow damped oscillatory wave (100 kHz or 1 MHz)	16
Table 3 – Test levels for the fast damped oscillatory wave (3 MHz, 10 MHz or 30 MHz)	16
Table 4 – Damped oscillatory waveform specifications at the EUT port of CDNs for slow damped oscillatory waves	32
Table 5 – Damped oscillatory waveform specifications at the EUT port of CDNs for fast damped oscillatory waves	34
Table B.1 – Example of uncertainty budget for the rise time of the open circuit voltage of the 3 MHz damped oscillatory wave (T_1)	49
Table B.2 – Example of uncertainty budget for the peak of the open circuit voltage of the 3 MHz damped oscillatory wave (Pk_1)	50
Table B.3 – α factor of different unidirectional impulse responses corresponding to the same bandwidth of system B	52

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 4-18: Testing and measurement techniques –
Damped oscillatory wave 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 61000-4-18 has been prepared by subcommittee 77B: High frequency phenomena, of IEC Technical Committee 77: Electromagnetic compatibility.

It forms Part 4-18 of the IEC 61000 series. It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2006 and its Amendment 1:2010. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) addition of a mathematical modelling of damped oscillatory wave waveform;
- b) new Annex B on measurement uncertainty;
- c) addition high speed CDN;

- d) addition of calibration procedures for CDNs;
- e) addition of the use of the capacitive coupling clamp on interconnection lines for fast damped oscillatory waves;
- f) addition of a test procedure for DC/DC converters in case the CDN does not work;
- g) new Annex C on issues relating to powering EUTs having DC/DC converters at the input.

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

FDIS	Report on voting
77B/797/FDIS	77B/799/RVD

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

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

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

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

The contents of the corrigendum of August 2019 have been included in this copy.

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 (in so far as they do not fall under the responsibility of the product committees)

Part 4: Testing and 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 damped oscillatory waves.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 4-18: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory wave immunity test

1 Scope

This part of IEC 61000 focuses on the immunity requirements and test methods for electrical and electronic equipment, under operational conditions, with regard to:

- a) repetitive slow damped oscillatory waves occurring mainly in power, control and signal cables installed in high voltage and medium voltage (HV/MV) substations;
- b) repetitive fast damped oscillatory waves occurring mainly in power, control and signal cables installed in gas insulated substations (GIS) and in some cases also air insulated substations (AIS) or in any installation due to high-altitude electromagnetic pulse (HEMP) phenomena.

The object of this document is to establish a common and reproducible reference for evaluating the immunity of electrical and electronic equipment when subjected to damped oscillatory waves on supply, signal, control and earth ports. 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. ¹

The document defines:

- test voltage and current waveforms;
- ranges of test levels;
- test equipment;
- calibration and verification procedures of test equipment;
- test setups;
- test procedure.

2 Normative references

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

IEC 60050-161, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 161: Electromagnetic compatibility* (available at www.electropedia.org)

¹ TC 77 and its sub-committees are prepared to co-operate with product committees in the evaluation of the value of particular immunity tests for their products.

3 Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60050-161 and the following apply.

ISO and IEC maintain terminological databases for use in standardization at the following addresses:

- IEC Electropedia: available at <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: available at <http://www.iso.org/obp>

NOTE Several of the most relevant terms and definitions from IEC 60050-161 are presented among the definitions below.

3.1.1

air insulated substation

AIS

substation which is made up with only air insulated switchgear

Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

3.1.2

auxiliary equipment

AE

equipment necessary to provide the equipment under test (EUT) with the signals required for normal operation and to verify the performance of the EUT

Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

3.1.3

burst

sequence of a limited number of distinct pulses or an oscillation of limited duration

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-02-07]

3.1.4

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]

3.1.5

capacitive coupling clamp

device of defined dimensions and characteristics for common mode coupling of the disturbance signal to the circuit under test without any galvanic connection to it

3.1.6

coupling

interaction between circuits, transferring energy from one circuit to another

3.1.7

coupling network

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

3.1.8

decoupling network

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

3.1.9

degradation (in performance)

undesired departure in the operational performance of any device, equipment or system from its intended performance

Note 1 to entry: The term "degradation" can apply to temporary or permanent failure.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-19]

3.1.10

gas insulated substation

GIS

substation which is made up with only gas insulated metal enclosed switchgear

Note 1 to entry: This note applies to the French language only.

[SOURCE: IEC 60050-605:1983, 605-02-14, modified – "metal-enclosed" has been removed from the term.]

3.1.11

high-altitude electromagnetic pulse

HEMP

electromagnetic pulse produced by a nuclear explosion outside the earth's atmosphere

Note 1 to entry: Typically above an altitude of 30 km.

3.1.12

electromagnetic compatibility

EMC

ability of an equipment or system to function satisfactorily in its electromagnetic environment without introducing intolerable electromagnetic disturbances to anything in that environment

[SOURCE: IEC 60050-161:2018, 161-01-07]

3.1.13

immunity (to a disturbance)

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

port

particular interface of the EUT with the external electromagnetic environment

3.1.15**reference ground plane****RGP**

flat conductive surface that is at the same electric potential as reference ground, which is used as a common reference, and which contributes to a reproducible parasitic capacitance with the surroundings of the equipment under test (EUT)

Note 1 to entry A reference ground plane is needed for the measurements of conducted disturbances, and serves as reference for the measurement of unsymmetrical and asymmetrical disturbance voltages.

Note 2 to entry In some regions, the term 'earth' is used in place of 'ground'.

Note 3 to entry: This note applies to the French language only.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-04-36]

3.1.16**rise time**

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

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-02-05, modified – The note has been included in the definition]

3.1.17**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 with the time-scale of interest

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

3.1.18**verification**

set of operations which is used to check the test equipment system (e.g. the test generator and the interconnecting cables) and to demonstrate that the test system is functioning within the specifications given in Clause 6

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

Note 2 to entry: The procedure of 6.2.1.3 and 6.2.2.3 is meant as a guide to ensure the correct operation of the test generator and other items making up the test setup so that the intended waveform is delivered to the EUT.

3.2 Abbreviated terms

AE	auxiliary equipment
AIS	air insulated substation
CDN	coupling/decoupling network
EFT/B	electrical fast transient/burst
EMC	electromagnetic compatibility
EUT	equipment under test
FDOW	fast damped oscillatory wave
FDOWG	fast damped oscillatory wave generator
GDT	gas discharge tube
GIS	gas insulated substation
HEMP	high-altitude electromagnetic pulse
HV	high voltage
MU	measurement uncertainty

MV	medium voltage
PE	protective earth
PWM	pulse width modulation
RGP	reference ground plane
SDOW	slow damped oscillatory wave
SDOWG	slow damped oscillatory wave generator

4 General

4.1 Types of damped oscillatory waves

The damped oscillatory wave phenomena are divided into two parts. The first part is referred to as the slow damped oscillatory wave and includes oscillation frequencies between 100 kHz and 1 MHz. The second part is referred to as the fast damped oscillatory wave, and it includes oscillation frequencies above 1 MHz.

The formula of the ideal waveform of Figure 1, $w(t)$ (open circuit voltage or short circuit current), is as follows:

$$w(t) = A \cdot K \cdot \frac{\left(\frac{t}{t_1}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{t_1}\right)^n} \cdot \exp\left(-\frac{t}{t_2}\right) \cos(2\pi f \cdot t + \phi)$$

The values of the parameters of $w(t)$ for the open circuit voltage are given in Table 1 for each standard oscillation period $T = 1/f$.

Table 1 – Values of the parameters of $w(t)$ for each standard oscillation frequency

Waveform	A	K	n	t_1	f	t_2	ϕ
Fast 30 MHz	Pk_1	1,19	1,67	2,26 ns	30 MHz	126 ns	$-\pi/2$
Fast 10 MHz	Pk_1	1,04	2,65	1,69 ns	10 MHz	377 ns	$-\pi/4$
Fast 3 MHz	Pk_1	1,07	2,30	2,89 ns	3 MHz	1,26 μ s	0
Slow 1 MHz	Pk_1	1,12	2,45	49,8 ns	1 MHz	3,77 μ s	$-\pi/4$
Slow 100 kHz	Pk_1	1,04	1,96	32,7 ns	100 kHz	37,7 μ s	0

The causes of these two types of damped oscillatory waves are described below.

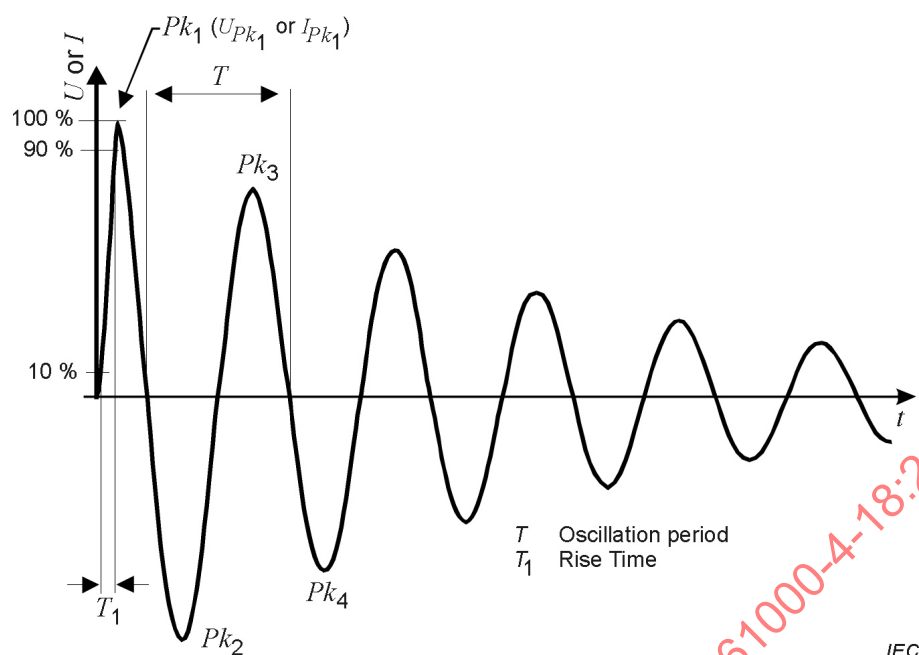


Figure 1 – Example of waveform of the damped oscillatory wave

4.2 Slow damped oscillatory wave phenomenon

This phenomenon is representative of the switching of disconnectors in HV/MV open-air substations, and is particularly related to the switching of HV busbars.

In substations, the opening and closing operations of HV disconnectors give rise to sharp front-wave transients, with rise times of the order of some tens of nanoseconds.

The voltage front-wave includes reflections due to the mismatch of the characteristic impedance of HV circuits involved. In this respect, the resulting transient voltage and current in HV busbars are characterized by a fundamental oscillation frequency that depends on the length of the circuit and on the propagation time.

The oscillation frequency ranges from about 100 kHz to a few megahertz for open-air substations, depending on the influence of the parameters mentioned above and the length of the busbars, which can vary from some tens of metres to hundreds of metres (400 m can occur).

In this respect, the oscillation frequency of 1 MHz can be considered representative of most situations, but 100 kHz has been considered appropriate for large HV substations.

The repetition frequency is variable between a few hertz and a few kilohertz depending on the distance between the switching contacts. For contacts in close proximity, the repetition frequency is at its maximum, while for contact distances close to allowing re-ignitions between the contacts, the repetition rate is at its minimum and is equivalent to twice the power frequency with respect to each phase (100/s per phase for 50 Hz grids and 120/s per phase for 60 Hz grids).

The repetition rates of 40/s and 400/s represent a compromise, taking into account the different durations of the phenomena, different frequencies considered and the energy to which the circuits under test are subjected.

Repetitive oscillatory transients can be generated by switching transients and the injection of impulsive currents in power systems (networks and electrical equipment).

4.3 Fast damped oscillatory wave phenomenon

4.3.1 General

The fast damped oscillatory wave immunity test should cover phenomena present in two specific environments:

- substations of the power network (produced by switchgear and controlgear);
- all installations exposed to high-altitude electromagnetic pulse (HEMP).

4.3.2 Disturbances produced by switchgear and controlgear

During opening or closing disconnector operations, between both contacts of the operated device, a large number of restrikes take place due to the slow speed of the contacts. Therefore, disconnector switch operations generate very fast transients, which propagate as travelling waves in the busbars of the substation. The electrical length of conductors and busbars will determine the oscillation frequencies of the transient overvoltages.

For air insulated substations (AIS) these transients will radiate an electromagnetic field in the substation environment. Measurements have been performed in air insulated substations using instruments with a large frequency bandwidth [1]². These measurements have shown that transient phenomena with frequencies higher than 1 MHz can also take place in these substations.

For gas insulated substations (GIS), these transients propagate inside the metallic enclosure, which contains the SF₆ gas. Due to the skin effect, high frequency transients are confined inside the enclosure and cause no problems. Transient current is transferred to the external surface of the enclosure tube at any enclosure discontinuity. As a consequence, the enclosure potential rises and the current flowing on the enclosure surface radiates an electromagnetic field in the substation environment. The transient ground potential rise is a direct source of transient common mode currents in the secondary circuits. The radiated electromagnetic field also induces common mode currents in the secondary circuits.

Measurements have shown that the maximum frequency of significant components in the spectral density of these currents can be as high as 30 MHz to 50 MHz [2].

As summarized in [1], the oscillation frequency of transients occurring in HV substations has increased due to the reduction of the overall sizes of substations, the use of GIS and the installation of electronic equipment nearer to switching devices.

Therefore, the oscillation frequencies of 3 MHz, 10 MHz and 30 MHz for the fast damped oscillatory waves are suitable to represent the environment both in some AIS and in all GIS.

The repetition frequency varies between a few hertz and many kilohertz depending on the distance between the switching contacts. With close contacts, there will be a high repetition frequency, while as the distances increase as the contacts open further, the minimum repetition frequency, with respect to each phase, is twice the power frequency (100/s per phase for 50 Hz and 120/s per phase for 60 Hz HV systems).

The repetition rate of 5 000/s represents the higher repetition rates measured in GIS. This rate still represents a compromise, taking into account the different durations of the phenomena, the suitability of the different frequencies considered and the problem related to the energy to which the circuits under test are subjected.

2 Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

4.3.3 Disturbances produced by high-altitude electromagnetic pulse (HEMP)

HEMP as presented in IEC 61000-2-9 [4] describes an intense, plane wave electromagnetic pulsed field which has a rise time of 2,5 ns and a pulse width of approximately 25 ns. This field interacts with exposed transmission lines to produce an oscillating voltage and current which depends on the length of the line (see IEC 61000-2-10 [5]). Outdoor power and communication lines have sufficient length (longer than 1 km), so that the coupled currents and voltages are normally impulsive in nature.

For indoor power and communication lines the incident HEMP is partially attenuated. Even so, the field couples to short indoor cables, causing a threat to connected electronic equipment. The HEMP fields couple to these short lines and produce high-frequency damped oscillatory waveforms with frequencies up to 100 MHz. Frequencies below 30 MHz are the most commonly observed (see IEC 61000-2-10 [5]). The damping rate of the oscillatory wave is fast due to the presence of absorbing walls, and a resonance quality factor Q between 10 and 20 is typical.

Short outdoor wiring (for example control circuits in substations or power plants) will couple to HEMP fields. Damped oscillatory transients will be induced, which will have frequencies of 1 MHz to 100 MHz.

The HEMP event typically generates one or two pulses. A high repetition rate is not necessary to replicate the HEMP event. Due to reliability concerns with digital electronics, it is recommended that a repetition rate of 5 000/s similar to switchgear and controlgear generated disturbances be used. This will increase the probability of discovering any malfunction caused by the HEMP event.

This document also includes information on test levels, generator specification and test procedures that will enable tests to be carried out at voltages induced by HEMP. Many frequencies occur under realistic conditions, but tests are carried out with oscillation frequencies up to 30 MHz in line with the environment in substations.

5 Test levels

The preferred test levels for the damped oscillatory wave tests, applicable to power, signal and control ports of the equipment, are given in Table 2 and Table 3. The test level is related to the voltage of the first peak of the waveform (Pk_1 in Figure 1).

Different levels may apply to power, signal and control ports. The level(s) used for signal and control ports shall not differ by more than one level from that used for power supply ports.

**Table 2 – Test levels for the slow damped oscillatory wave
(100 kHz or 1 MHz)**

Level	Open circuit test voltage	
	Line-to-line kV	Line-to-ground kV
1	0,25	0,5
2	0,5	1
3	1	2 ^a
4 ^b	---	---
X ^c	Special	Special
^a The value is increased to 2,5 kV for substation equipment. ^b This level is not applicable to slow damped oscillatory wave. ^c "X" can be any level, above, below or in between the others. The level shall be specified in the dedicated equipment specification.		

**Table 3 – Test levels for the fast damped oscillatory wave
(3 MHz, 10 MHz or 30 MHz)**

Level	Open circuit test voltage
	Line-to-ground kV
1	0,5
2	1
3	2
4	4
X ^a	Special
^a "X" can be any level, above, below or in between the others. The level shall be specified in the dedicated equipment specification.	

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

6 Test instrumentation

6.1 General

The generator output shall have the capability to operate under short circuit conditions.

The test generator produces a damped oscillatory wave with the following characteristics as it shall be applied to the EUT port. If applied via a coupling/decoupling network, the characteristics are specified at the output of that network.

The SDOWG output shall be floating. This condition is necessary to test the EUT control and signal ports in differential mode. A dual output generator is necessary. The FDOWG output has a single coaxial output. The test with this generator shall be made only in common mode.

6.2 Damped oscillatory wave generators

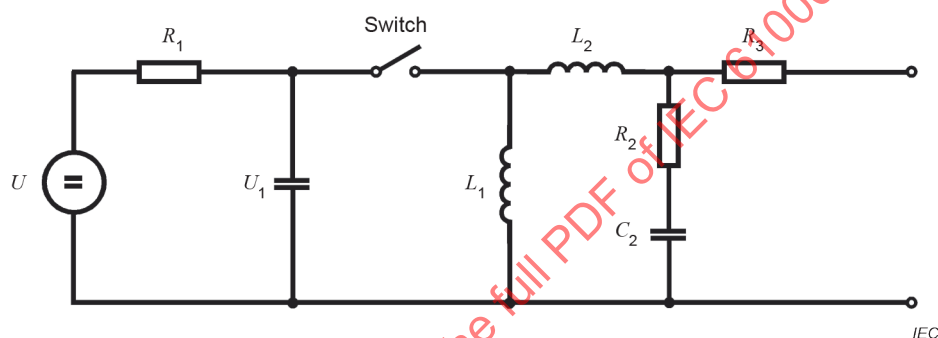
6.2.1 Slow damped oscillatory wave generator

6.2.1.1 General

The output impedance of the slow generator has been fixed at $200\ \Omega$ although the actual impedance of the cables (twisted pairs) is nearer to $150\ \Omega$. The reason for which the $200\ \Omega$ impedance has been selected is in order not to modify an existing general status that would involve the technical specifications of a family of equipment, with applications mainly in high voltage substations.

In addition, the cables in this category of electrical and industrial plants are mostly in the order of hundreds of meters in length, and therefore the impedance of the connections in the field is nearer the characteristic impedance of the cables, and not less than that value.

An example of a schematic circuit of the generator is given in Figure 2.



Key

U :	high voltage source	L_2 :	filter inductor
R_1 :	charging resistor	R_2 :	filter resistor
C_1 :	energy storage capacitor	C_2 :	filter capacitor
Switch:	high voltage switch	R_3 :	source resistor
L_1 :	oscillating circuit inductor		

Figure 2 – Example of schematic circuit of the generator for the slow damped oscillatory wave

6.2.1.2 Performance characteristics of the slow damped oscillatory wave generator

The specifications of the slow damped oscillatory wave generator are as follows:

- voltage rise time (T_1 in Figure 1): $75\text{ ns} \pm 20\%$;
- voltage oscillation frequencies (see Note 1): $(100\text{ kHz and } 1\text{ MHz}) \pm 10\%$;
- repetition rate: $40/\text{s}$ for $100\text{ kHz} \pm 10\%$ and $400/\text{s}$ for $1\text{ MHz} \pm 10\%$;
- voltage decaying (see Figure 1): Pk_5 shall be $> 50\%$ of the Pk_1 value and Pk_{10} shall be $< 50\%$ of the Pk_1 value; not less than 2 s ;
- burst duration:
- open circuit voltage (U_{Pk1} value, see Figure 1): $(250\text{ V to } 2,5\text{ kV}) \pm 10\%$;
- short circuit current (I_{Pk1} value): $(1,25\text{ A to } 12,5\text{ A}) \pm 20\%$;
- phase relationship with the power frequency: no requirement;
- polarity of the first half-period: positive and negative.

NOTE 1 Oscillation frequency is defined as the reciprocal of the period between the first and third zero crossings after the initial peak. This period is shown as T in Figure 1.

NOTE 2 The effective output impedance is the nominal open circuit voltage U_{Pk1} divided by the nominal short circuit current I_{Pk1} . The nominal value is 200 Ω .

Examples of the repetition rate and burst duration are shown in Figure 3.

The waveform of the slow damped oscillatory wave with peak points marked is given in Figure 1.

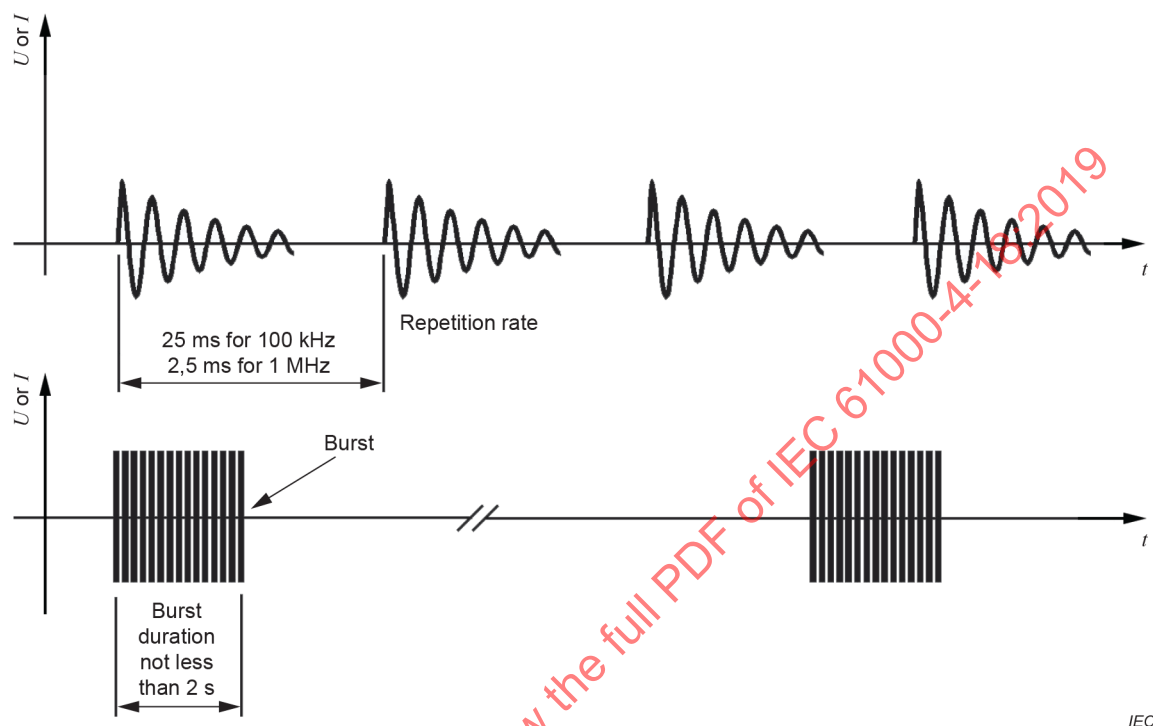


Figure 3 – Representation of a slow damped oscillatory wave

6.2.1.3 Calibration of the slow damped oscillatory wave generator

The test generator characteristics mentioned in 6.2.1.2 shall be calibrated in order to establish that they meet the requirements of this document. The following parameters are essential in order to compare different test generators:

- voltage rise time;
- oscillation frequency;
- repetition rate;
- decaying;
- burst duration;
- open circuit voltage U_{Pk1} (open circuit impedance: $Z_{oc} \geq 10 \text{ k}\Omega$);
- short circuit current I_{Pk1} (using a short circuit impedance: $Z_{sc} \leq 0,1 \Omega$).

The calibrations shall be carried out with voltage or current probes (as applicable) and with oscilloscopes or other equivalent measurement instrumentation with a minimum bandwidth of 40 MHz.

The waveform characteristics shall be verified directly at the output of the test generator with an open circuit impedance $\geq 10 \text{ k}\Omega$ and short circuit load impedances $\leq 0,1 \Omega$.

Calibrations shall be performed at those test levels which are applied to the EUT.

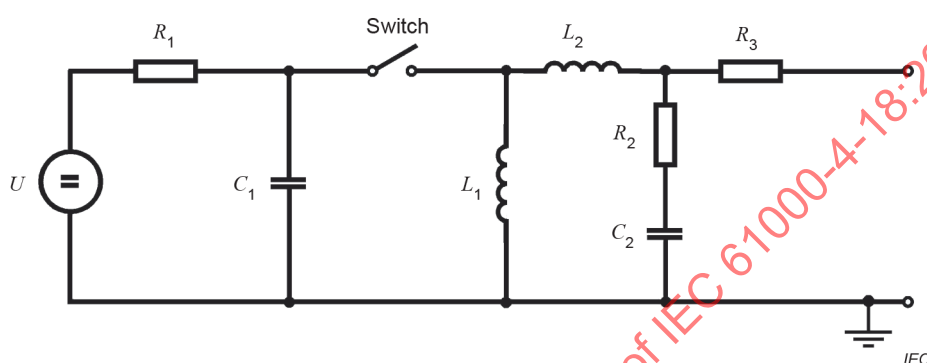
For measurement uncertainty see Annex B.

6.2.2 Fast damped oscillatory wave generator

6.2.2.1 General

The output impedance of the fast generator has been fixed at 50 Ω . The reason for which the 50 Ω impedance has been selected is to be consistent with the EFT/B generator as specified in IEC 61000-4-4 [15].

An example of a schematic circuit of the fast generator is given in Figure 4.



Key

U :	high voltage source	L_2 :	filter inductor
R_1 :	charging resistor	R_2 :	filter resistor
C_1 :	energy storage capacitor	C_2 :	filter capacitor
Switch:	high voltage switch	R_3 :	source resistor
L_1 :	oscillating circuit inductor		

Figure 4 – Example of schematic circuit of the test generator for the fast damped oscillatory wave

6.2.2.2 Performance characteristics of the fast damped oscillatory wave generator

The open circuit specifications of the fast damped oscillatory wave generator are as follows:

- voltage rise time (T_1 in Figure 1): 5 ns $\pm$ 30 %;
- voltage oscillation frequencies (see Note 1): (3 MHz, 10 MHz and 30 MHz) $\pm$ 10 %;
- repetition rate (see Figure 5): 5 000/s $\pm$ 10 %;
- decaying (see Figure 1): Pk_5 shall be > 50 % of the Pk_1 value and Pk_{10} shall be < 50 % of the Pk_1 value;
- burst duration (see Figure 5):
 - 3 MHz: 50 ms $\pm$ 20 %;
 - 10 MHz: 15 ms $\pm$ 20 %;
 - 30 MHz: 5 ms $\pm$ 20 %;
- burst period (see Figure 5): 300 ms $\pm$ 20 %;
- open circuit voltage (U_{Pk1} value, see Figure 1): (500 V to 4 kV) $\pm$ 10 %;
- phase relationship with the power frequency: no requirement;
- polarity of the first half-period: positive and negative.

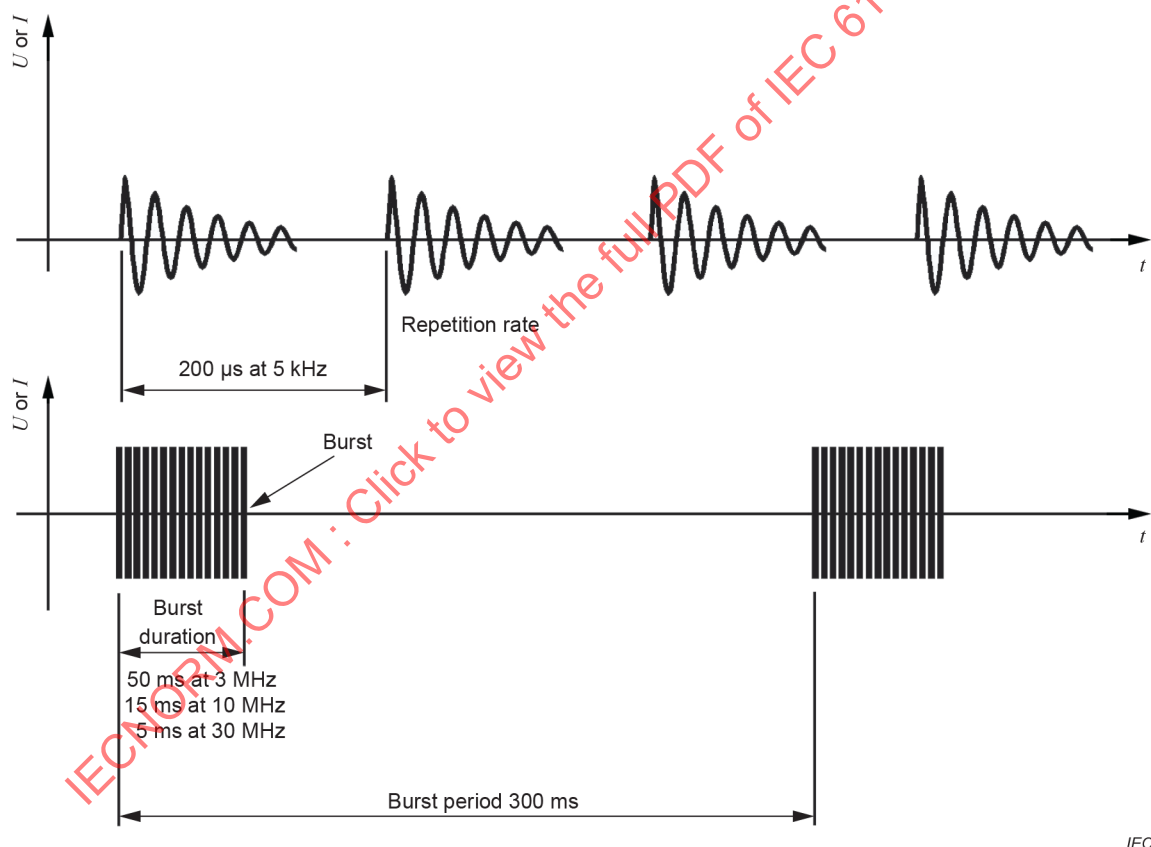
The short circuit specifications of the fast damped oscillatory wave generator are as follows:

- current rise time (T_1 in Figure 1):
 3 MHz: < 330 ns;
 10 MHz: < 100 ns;
 30 MHz: < 33 ns;
- current oscillation frequencies (Note 1): (3 MHz, 10 MHz and 30 MHz) $\pm 30\%$;
- decaying (see Figure 1): Pk_5 shall be > 25 % of the Pk_1 value
 and Pk_{10} shall be < 25 % of the Pk_1 value;
- short circuit current (I_{Pk1} value): (10 A to 80 A) $\pm 20\%$.

NOTE 1 Oscillation frequency is defined as the reciprocal of the period between the first and third zero crossings after the initial peak. This period is shown as T in Figure 1.

NOTE 2 The effective output impedance is the nominal open circuit voltage U_{Pk1} divided by the nominal short circuit current I_{Pk1} . The nominal value is 50 Ω .

The waveform of the fast damped oscillatory wave with peak points marked, is given in Figure 1.



IEC

Figure 5 – Representation of a fast damped oscillatory wave

6.2.2.3 Calibration of the fast damped oscillatory wave generator

The test generator characteristics mentioned in 6.2.2.2 shall be calibrated in order to establish that they meet the requirements of this document. The following parameters are essential in order to compare different test generators:

- rise time;
- oscillation frequency;
- repetition rate;

- voltage waveform decaying;
- burst duration;
- burst period;
- open circuit voltage U_{Pk1} (open circuit impedance: $Z_{oc} = 1 \text{ k}\Omega \pm 2 \%$);
- current rise time;
- current oscillation frequencies;
- current waveform decaying;
- short circuit current I_{Pk1} (short circuit impedance: $Z_{sc} = 0,10 \text{ }\Omega \pm 2\%$).

The calibrations shall be carried out with voltage or current probes (as applicable) and with oscilloscopes or other equivalent measurement instrumentation with a minimum bandwidth of 400 MHz.

The voltage probe used shall have the following characteristics:

- $1 \text{ k}\Omega \pm 2 \%$; this measurement is performed at DC.

The tolerance of the insertion loss of the test loads shall not exceed:

- $\pm 1 \text{ dB}$ up to 100 MHz;
- $\pm 3 \text{ dB}$ from 100 MHz up to 400 MHz.

The current probe used shall have the following characteristics:

- $0,1 \text{ }\Omega \pm 2 \%$; this measurement is performed at DC.

The tolerance of the insertion loss of the test loads shall not exceed:

- $\pm 3 \text{ dB}$ up to 400 MHz.

The waveform characteristics shall be verified directly at the output of the test generator with open circuit and short circuit load impedances.

The 30 MHz waveform may be distorted at the beginning between Pk_1 and Pk_3 . The following points shall be considered during the 30 MHz calibration:

- a) The Pk_1 amplitude should be higher than Pk_3 to clearly define the 100 % point for the rise time and the damping calculation.
- b) The Pk_2 amplitude may be higher than Pk_1 . In this case the Pk_1 is still relevant for the 100 % point.

Calibrations shall be performed at those test levels which are applied to the EUT.

For measurement uncertainty see Annex B.

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 given in 6.3.2 for slow and 6.3.3 for fast.

The CDN provides both the ability to apply the test voltage in either common (for both generators) or differential (only 100 kHz, 1 MHz) mode to the mains, signal and control ports of the EUT, and prevents the test voltage from affecting any auxiliary equipment needed to perform the test.

The 0,5 μF for the slow damped oscillatory wave or the 33 nF for the fast damped oscillatory wave coupling capacitors in the coupling networks shall give a coupling attenuation of less than 10 %.

The CDN shall have a dedicated earth terminal.

For I/O and communication lines, the series impedance of the decoupling network limits the available bandwidth for data transmission. The preferred coupling elements are capacitors. When coupling to interconnection lines, the waveform can be distorted by the coupling mechanisms described in 6.3.2.3.

Each CDN shall satisfy the requirements of 6.3. and shall fulfil the calibration requirements in 6.4.

An RGP is used for a fast damped oscillatory wave setup. For a slow damped oscillatory wave setup, no RGP is necessary (an RGP is systematically required above 1 MHz).

6.3.2 Coupling/decoupling networks for slow damped oscillatory waves

6.3.2.1 Selection of coupling/decoupling networks

The use of CDNs is decided according to the following flowchart (see Figure 6):

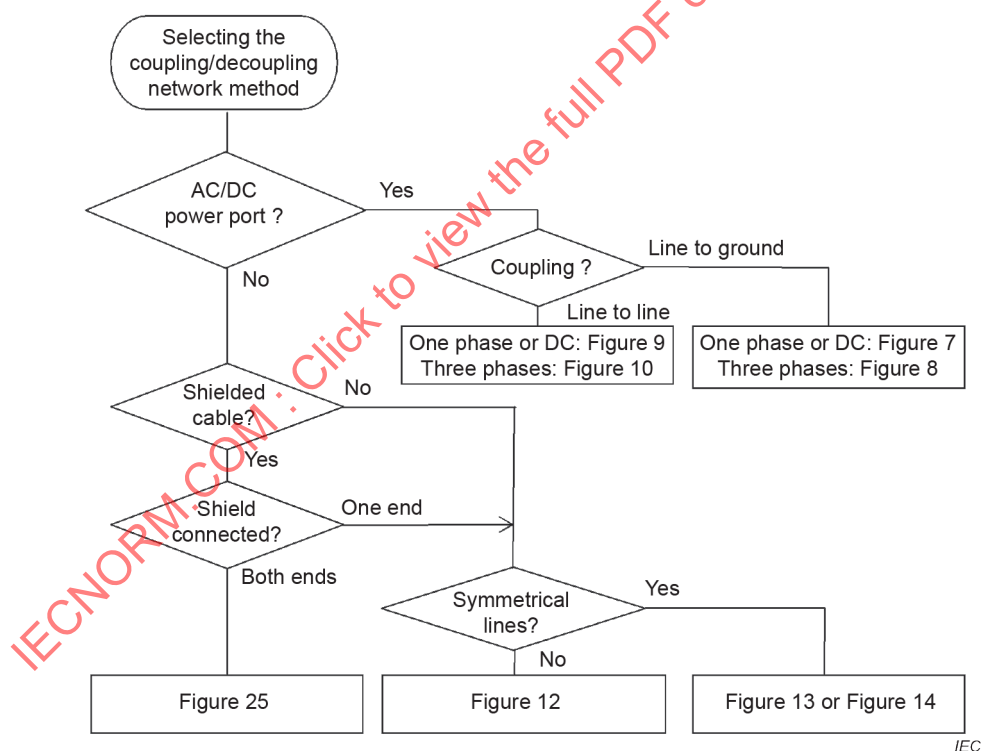


Figure 6 – Selection of coupling/decoupling method for slow damped oscillatory waves

6.3.2.2 Coupling/decoupling networks for AC/DC power ports up to 32 A

For AC or DC power lines, the decoupling network provides a relatively high impedance to the slow damped oscillation 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 CDN. High voltage capacitors are used for coupling elements and rated to allow the complete waveform duration to be coupled to the EUT.

NOTE Currently, all equipment subject to this document have current ratings up to 32 A. Therefore CDNs with current ratings larger than 32 A have not been considered.

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.

Examples of CDNs for AC/DC power ports are shown in Figure 7 to Figure 10.

The residual damped oscillatory voltage (from Pk_1 to Pk_{10}) on the power supply inputs of the decoupling network when the EUT is disconnected shall not exceed 15 % of the applied test voltage or twice the rated peak voltage of the coupling/decoupling network, whichever is higher.

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).

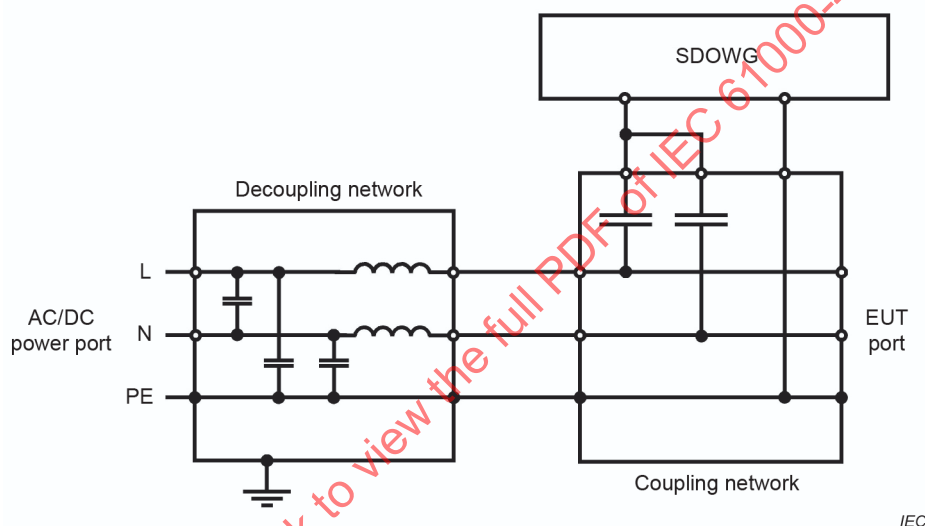


Figure 7 – Example of a CDN for capacitive coupling on AC/DC lines: line-to-ground coupling

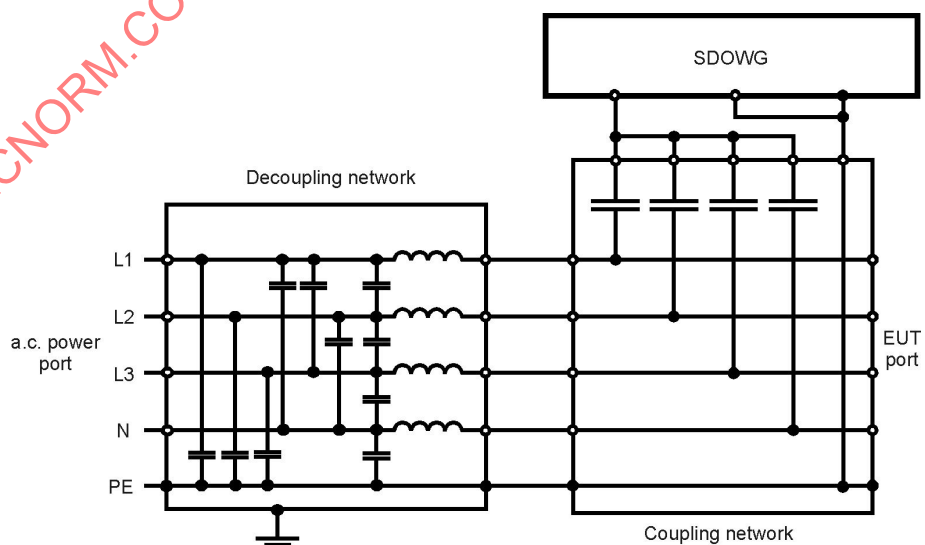


Figure 8 – Example of a CDN for capacitive coupling on AC lines (three phases): line-to-ground coupling

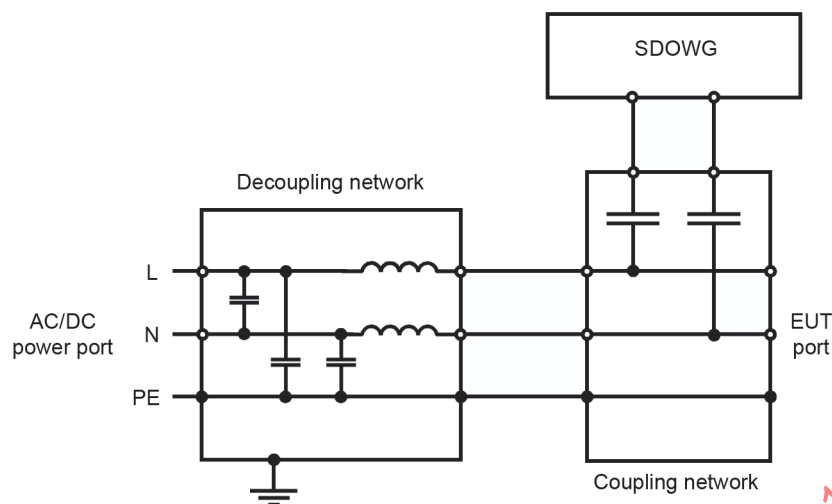


Figure 9 – Example of a CDN for capacitive coupling on AC/DC lines: line-to-line coupling

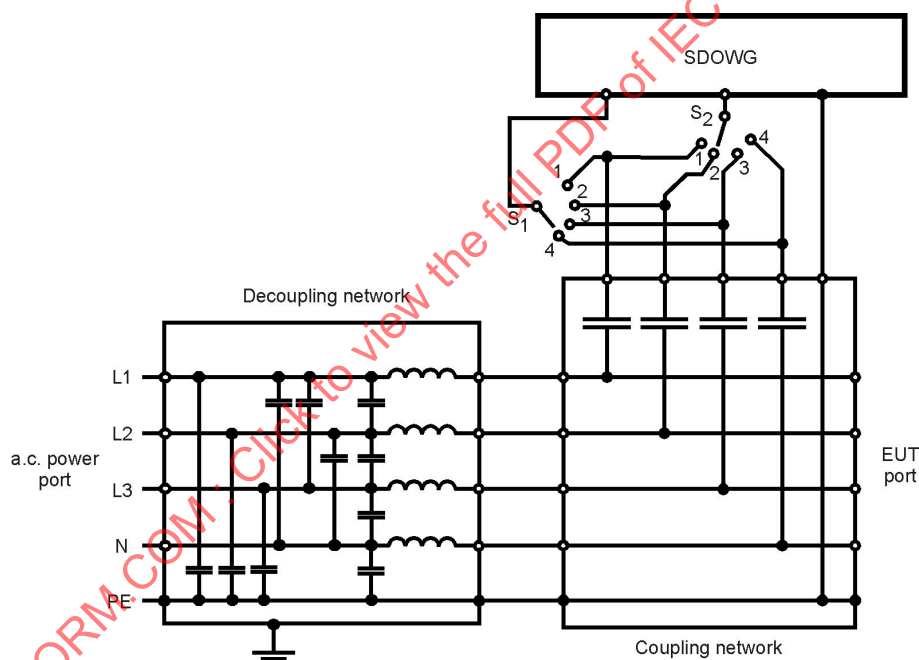


Figure 10 – Example of a CDN for capacitive coupling on AC lines (three phases): line L2-to-line N coupling

6.3.2.3 Coupling/decoupling networks for interconnection lines

6.3.2.3.1 General

The coupling method shall be selected based on the types or function of the interconnection cables, circuits and the operational conditions provided by the product specification. Figure 11 shows a typical CDN used for interconnection lines.

Coupling to unshielded lines requires 0,5 μF coupling capacitors that ensure sufficient insulation between the interconnection lines and the damped oscillatory generator but allow efficient transfer of the damped oscillatory wave.

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

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, gas discharge tubes (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.

The minimum decoupling attenuation may not be sufficient to protect auxiliary signal sources, and additional protection devices can be required.

The network may consist of single units in order to give the possibility of testing input/output ports with single circuits or a grouping of circuits (for example, multi-wire with common).

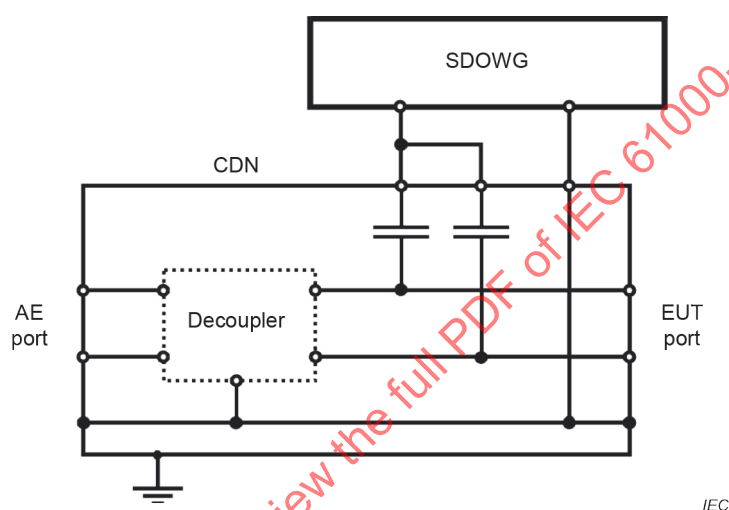


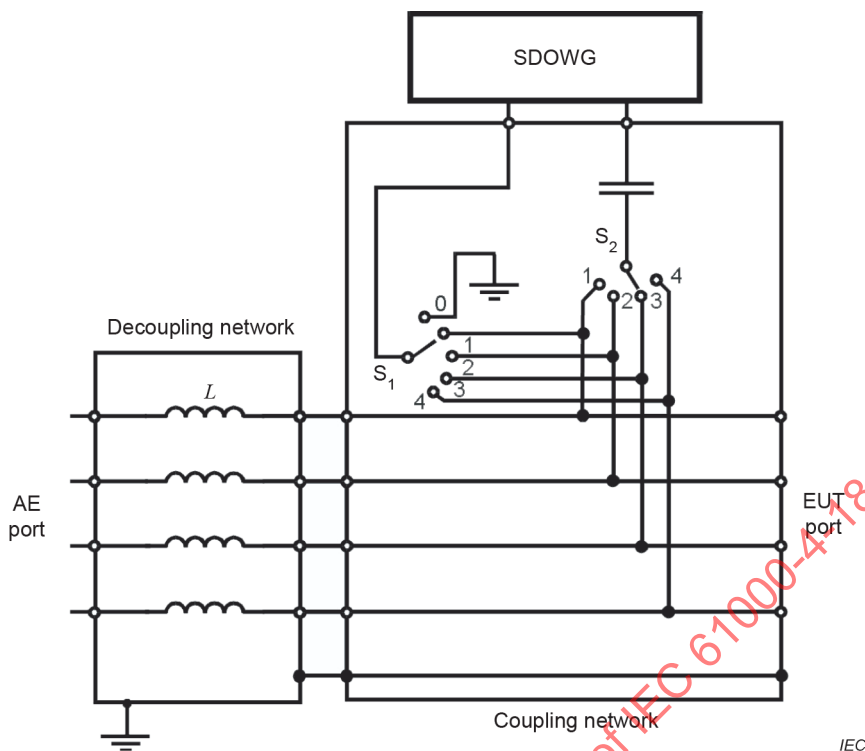
Figure 11 – Example of a CDN for interconnection lines: line-to-ground coupling

The decoupling section of the CDN consists generally of inductors greater than 1,5 mH.

6.3.2.3.2 Coupling/decoupling networks for unshielded, unsymmetrical interconnection lines

Coupling to unshielded unsymmetrical interconnection lines includes both line-to-line and line-to-ground coupling. The decoupling is provided with one decoupling choke per line.

An example of a CDN for unshielded unsymmetrical interconnection lines is shown in Figure 12.



- 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

Figure 12 – Example of a CDN for unshielded unsymmetrical interconnection lines: line-to-line and line-to-ground coupling

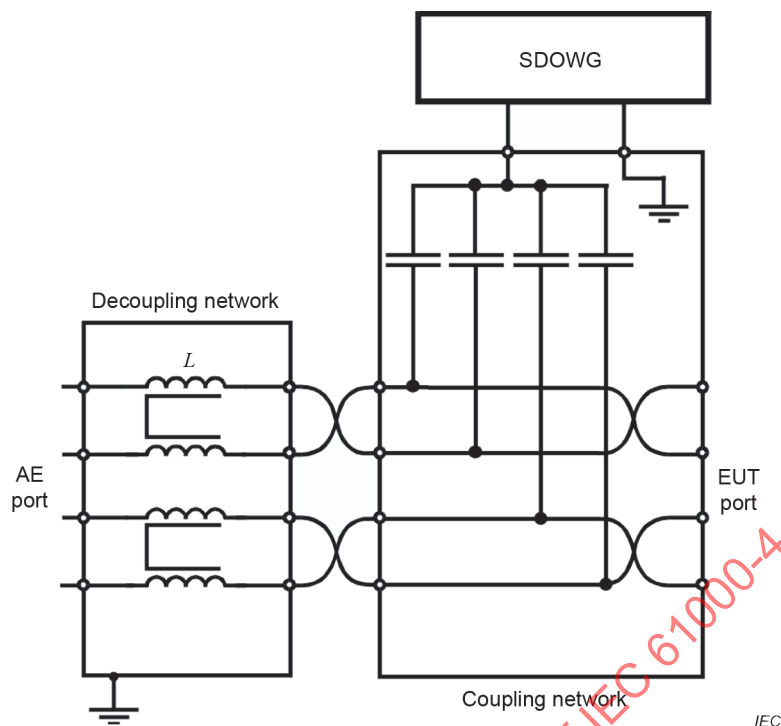
Coupling to unshielded unsymmetrical interconnection lines requires $0,5 \mu\text{F}$ capacitors. The decoupling section of the CDN generally consists of inductors greater than $1,5 \text{ mH}$.

6.3.2.3.3 Coupling/decoupling networks for 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.

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 13.



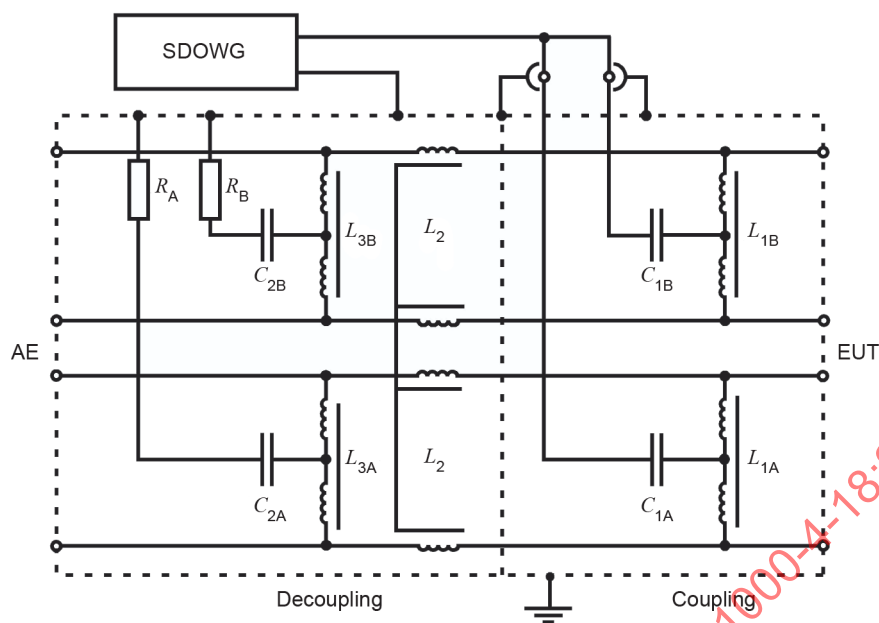
NOTE L with current compensation can include all four coils or only pairs – as shown – to be effective.

Figure 13 – Example of a CDN for unshielded symmetrical interconnection lines: line-to-ground coupling

For unshielded symmetrical interconnection lines, the examples given in Figure 13 and Figure 14 can be used. The value of the coupling capacitor in Figure 13 shall be $0,5 \mu\text{F}$.

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



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 14 – Example of a CDN for unshielded symmetrical interconnection lines: line-to-ground coupling via capacitors

6.3.3 Coupling/decoupling networks for fast damped oscillatory waves

6.3.3.1 Selection of CDNs for fast damped oscillatory waves

Different types of CDNs mentioned in 6.3.2 are used in combination with the FDOWG for applying fast damped oscillatory waves. The following methods apply:

- for AC/DC power ports, the examples shown in Figure 15 and Figure 16 are used;
- for interconnection lines, the example shown in Figure 17 is used.

NOTE Subclause 8.3 gives details in case the use of a CDN is not suitable.

6.3.3.2 Coupling/decoupling networks for AC/DC power ports up to 32 A for fast damped oscillatory waves

For AC or DC power lines, the decoupling network provides a relatively high impedance to the fast damped oscillation 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 CDN. High voltage capacitors are used for coupling elements and rated to allow the complete waveform duration to be coupled to the EUT.

NOTE Currently, all equipment subject to this document have current ratings up to 32 A. Therefore CDNs with current ratings larger than 32 A have not been considered.

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.

Examples of CDNs for AC/DC power ports are shown in Figure 15 and Figure 16.

The residual damped oscillatory voltage (from Pk_1 to Pk_{10}) on the power supply inputs of the decoupling network when the EUT is disconnected shall not exceed 15 % of the applied test voltage or twice the rated peak voltage of the coupling/decoupling network, whichever is higher.

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).

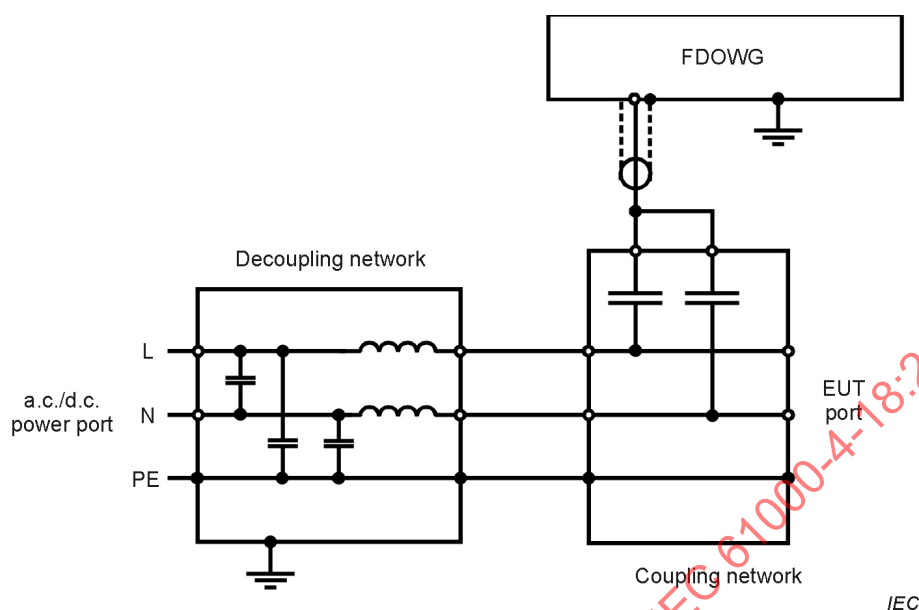


Figure 15 – Example of CDN for AC/DC single-phase power supply: line-to-ground coupling

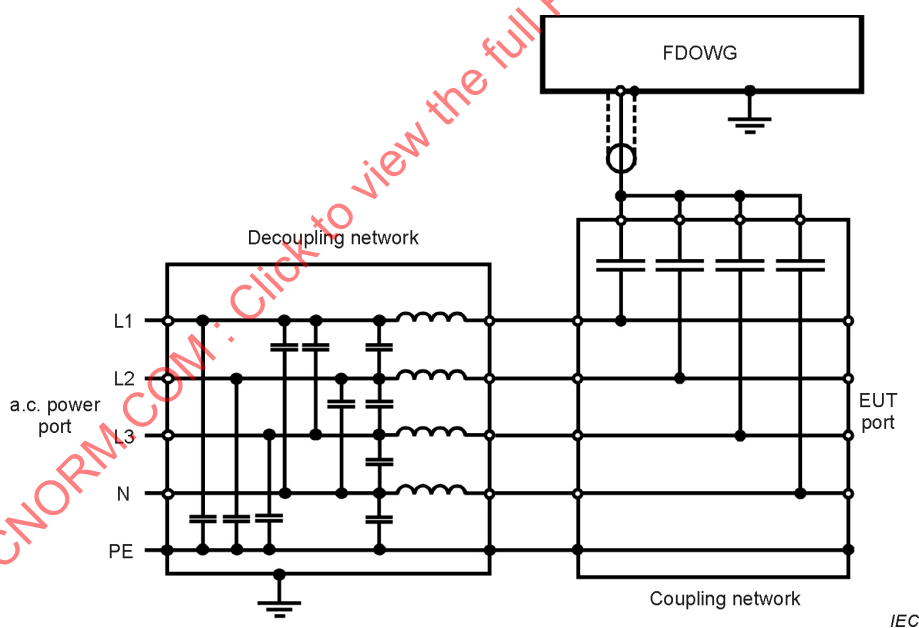


Figure 16 – Example of CDN for AC three-phase power supply: line-to-ground coupling

6.3.3.3 Coupling/decoupling networks for interconnection lines for fast damped oscillatory waves

The coupling method shall be selected based on the types or function of the interconnection cables, circuits and the operational conditions provided by the product specification. Figure 17 shows a typical CDN used for interconnection lines.

Coupling to unshielded lines requires 33 nF coupling capacitors that ensure sufficient insulation between the interconnection lines and the damped oscillatory generator but allow efficient transfer of the damped oscillatory wave.

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

The breakdown voltage of the coupling capacitor 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 fulfil the calibration requirements given 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.

The minimum decoupling attenuation may not be sufficient to protect auxiliary signal sources and additional protection devices can be required.

The network may consist of single units in order to give the possibility of testing input/output ports with single circuits or grouping of circuits (for example, multi-wire with common).

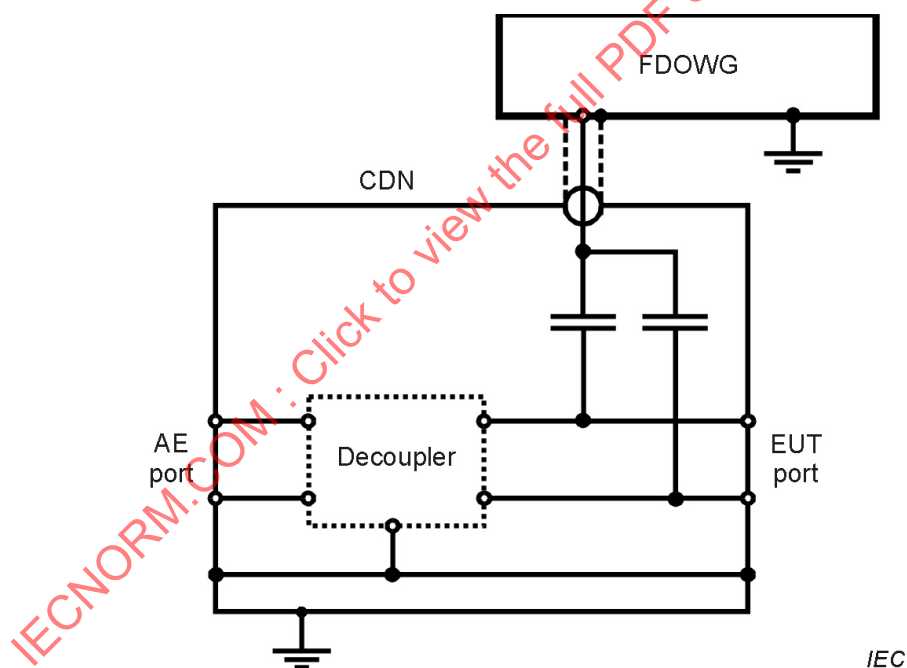


Figure 17 – Example of CDN for interconnection lines for fast damped oscillatory waves: line-to-ground coupling

The decoupling section of the CDN is built with $> 100 \mu\text{H}$ (for the fast damped oscillatory wave test) inductances.

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. Considerations of measurement uncertainties are given in Annex B. 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, therefore, can be different with various generators.

The measuring equipment used for the calibration of the CDN shall satisfy the same requirements applicable to the calibration of the generator (see 6.2.1.3 or 6.2.2.3 respectively)

Calibrations shall be performed at those test levels which are applied to the EUT or at minimum and maximum test levels.

The open circuit voltage U_{Pk1} , rise time and decay shall be measured under open circuit voltage conditions. Under short circuit conditions, the current I_{Pk1} shall be measured.

The residual damped oscillatory voltage measured between applied lines and ground on the AC/DC input 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 damped oscillatory voltage measured between non-applied lines and ground at the EUT port with EUT and mains supply not connected shall not exceed 15 % of the maximum applied test voltage (open circuit).

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

NOTE Currently, there are no limits defined for the residual voltage for interconnection lines CDN.

6.4.2 Calibration of CDNs for slow damped oscillatory waves

Calibrations shall be made port by port with open circuit and short circuit for P_{k1} at the EUT port of the CDN. Both polarities (positive and negative) shall be calibrated.

The requirements stated in 6.4.1 and the characteristics in Table 4 shall be met at the output of the CDN with neither the AC/DC power port nor the AE port connected.

Table 4 – Damped oscillatory waveform specifications at the EUT port of CDNs for slow damped oscillatory waves

Selection of CDN	Voltage oscillation frequencies $\pm 10\%$	SDOWG Output voltage	U_{Pk1} at CDN EUT port $\pm 10\%$	Voltage rise time T_1 $\pm 20\%$	Voltage decaying U_{Pk5}	Voltage decaying U_{Pk10}	I_{Pk1} at CDN EUT port $\pm 20\%$
CDN (Figure 7, Figure 8) Common mode (line-to-ground)	100 kHz 1 MHz	0,5 kV	0,5 kV	75 ns	> 50 % of U_{Pk1}	< 50 % of U_{Pk1}	2,5 A
		1,0 kV	1,0 kV				5 A
		2,0 kV ^a	2,0 kV ^a				10 A ^a
CDN (Figure 9, Figure 10) Differential mode (line-to-line)	100 kHz 1 MHz	0,25 kV	0,25 kV	75 ns	> 50 % of U_{Pk1}	< 50 % of U_{Pk1}	1,25 A
		0,5 kV	0,5 kV				2,5 A
		1,0 kV	1,0 kV				5 A
CDN (Figure 11) Common mode (line-to-ground)	100 kHz 1 MHz	0,5 kV	0,5 kV	75 ns	> 50 % of U_{Pk1}	< 50 % of U_{Pk1}	2,5 A
		1,0 kV	1,0 kV				5 A
		2,0 kV ^a	2,0 kV ^a				10 A ^a
CDN (Figure 12) Differential mode (line-to-line)	100 kHz 1 MHz	0,25 kV	0,25 kV	75 ns	> 50 % of U_{Pk1}	< 50 % of U_{Pk1}	1,25 A
		0,5 kV	0,5 kV				2,5 A
		1,0 kV	1,0 kV				5 A
CDN (Figure 13, Figure 14) Common mode (line-to-ground)	100 kHz 1 MHz	0,5 kV	0,5 kV	75 ns	> 50 % of U_{Pk1}	< 50 % of U_{Pk1}	2,5 A
		1,0 kV	1,0 kV				5 A
		2,0 kV ^a	2,0 kV ^a				10 A ^a
The waveforms at the CDN output ports shall comply with the same tolerances than at the generator output port.							
^a The value is increased to 2,5 kV / 12,5 A for substation equipment.							

6.4.3 Calibration of CDNs for fast damped oscillatory waves

The calibration shall be performed for common mode coupling, that is, coupling the damped oscillatory waves to all lines simultaneously.

Calibrations shall be made port by port with short circuit for P_{k1} at the EUT port of the CDN. Both polarities (positive and negative) shall be calibrated.

For AC/DC power port CDNs, the calibration is performed with the generator output at those test levels which are applied to the EUT. The generator is connected to the input of the CDN. Each individual output of the CDN (L1, L2, L3, N normally connected to the EUT) is loaded with the 0,1 Ω shunt to the RGP while the other ports are open. The peak current and waveform are recorded for each polarity. Figure 18 shows one of the four calibration measurements, the calibration of L1 to the RGP.

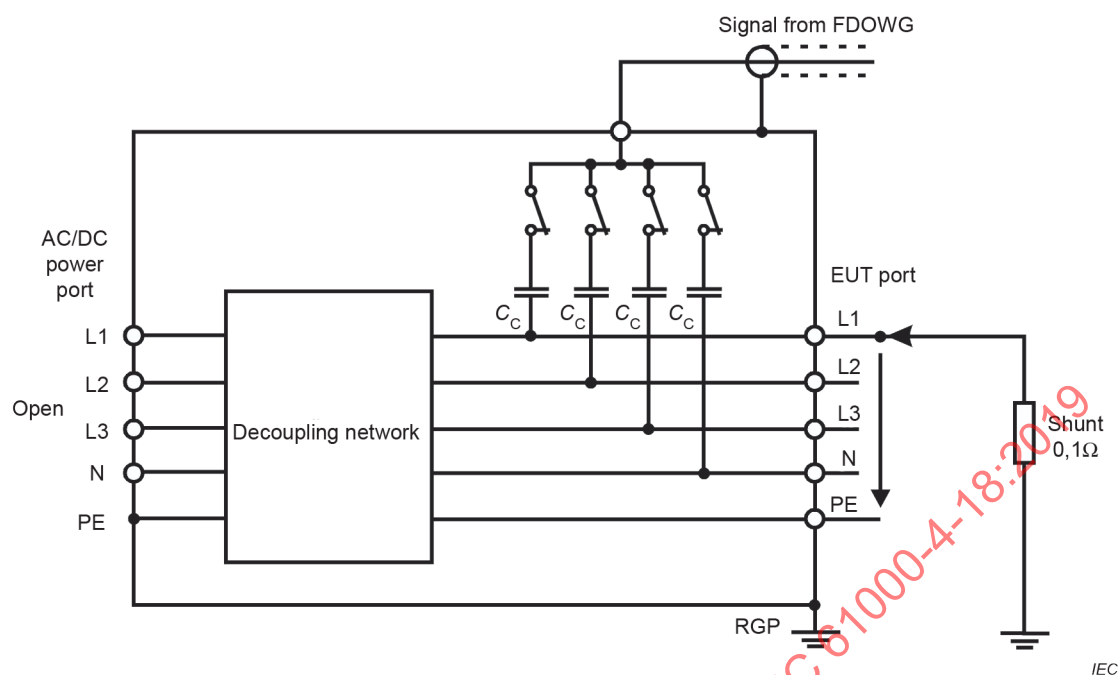


Figure 18 – Example of a calibration setup of CDNs for AC/DC power ports for fast damped oscillatory waves

For interconnection-line CDNs, the specifications given in Table 5 shall be individually calibrated for each coupling line at each EUT port terminal (SC1, SC2) of the CDN with a single $0,1\,\Omega \pm 2\%$ shunt to the RGP. Figure 19 shows one of the two calibration measurements, the calibration of SC1 to the RGP.

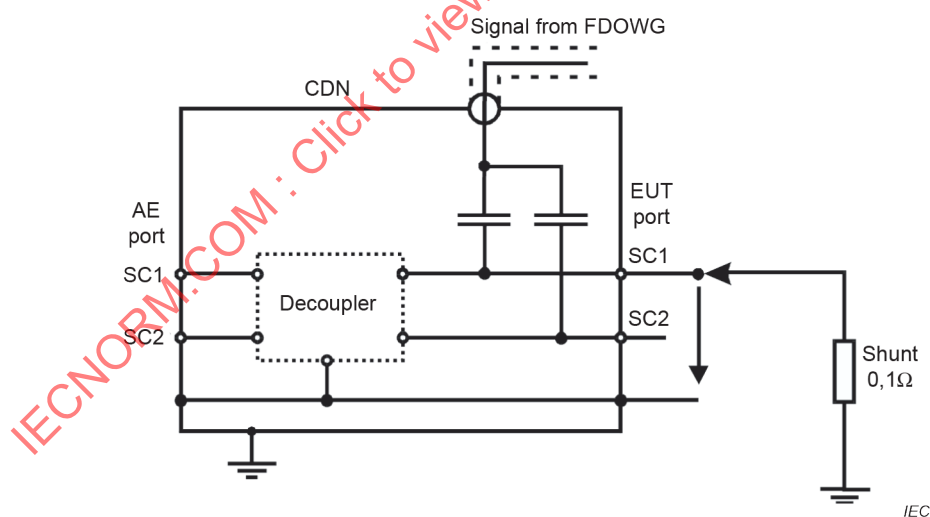


Figure 19 – Example of a calibration setup of CDNs for interconnection lines for fast damped oscillatory waves

NOTE 1 Verifying each coupling line separately is done to ensure that each line is properly functioning and calibrated.

NOTE 2 Care is taken to use coaxial adapters to interface with the output of the CDN.

The connection between the output of the CDN and the coaxial adapter should be as short as possible, but not exceed 0,1 m.

The requirements stated in 6.4.1 and the characteristics in Table 5 shall be met at the output of the CDN with neither the AC/DC power port nor the AE port connected.

Table 5 – Damped oscillatory waveform specifications at the EUT port of CDNs for fast damped oscillatory waves

Selection of CDN	FDOWG Output voltage	I_{Pk1} at CDN EUT port $\pm 20 \%$	Current oscillation frequencies $\pm 30 \%$	Current rise time T_1	Current decaying I_{Pk5}	Current decaying I_{Pk10}
CDN (Figure 18, Figure 19) Common mode (line-to-ground)	0,5 kV	10 A	3 MHz 10 MHz 30 MHz	< 330 ns < 100 ns < 33 ns	> 25 % of I_{Pk1}	< 25 % of I_{Pk1}
	1,0 kV	20 A				
	2,0 kV	40 A				
	4,0 kV	80 A				

6.5 Capacitive coupling clamp for fast damped oscillatory waves

6.5.1 Characteristics of the capacitive coupling clamp

The clamp provides the ability to couple the fast damped oscillatory waves to the circuit under test without any galvanic connection to the terminals of the EUT's ports, shielding of the cables or any other part of the EUT.

The coupling capacitance of the clamp depends on the cable diameter, material of the cables, and cable shielding (if any).

The device is composed of a clamp unit (made, for example, of galvanized steel, brass, copper or aluminium) for housing the cables (flat or round) of the circuits under test and shall be placed on an RGP. The RGP shall extend beyond the clamp by a least 0,1 m on all sides.

The clamp shall be provided at both ends with a high voltage coaxial connector for the connection of the test generator at either end. The generator shall be connected to that end of the clamp which is nearest to the EUT.

NOTE When the coupling clamp has only one HV coaxial connector, it is arranged so that the HV coaxial connector is closest to the EUT.

The clamp itself shall be closed as much as possible to provide maximum coupling capacitance between the cable and the clamp.

An example of the mechanical arrangement of the coupling clamp is given in Figure 20. The following dimensions shall be used:

- lower coupling plate height: (100 ± 5) mm
- lower coupling plate width: (140 ± 7) mm
- lower coupling plate length: $(1\,000 \pm 50)$ mm

NOTE The extensions of the lower coupling plate to accommodate the fixing (screws) to hold the top plate down are not part of the area given by the dimensions specified in the list above and shown in Figure 20.

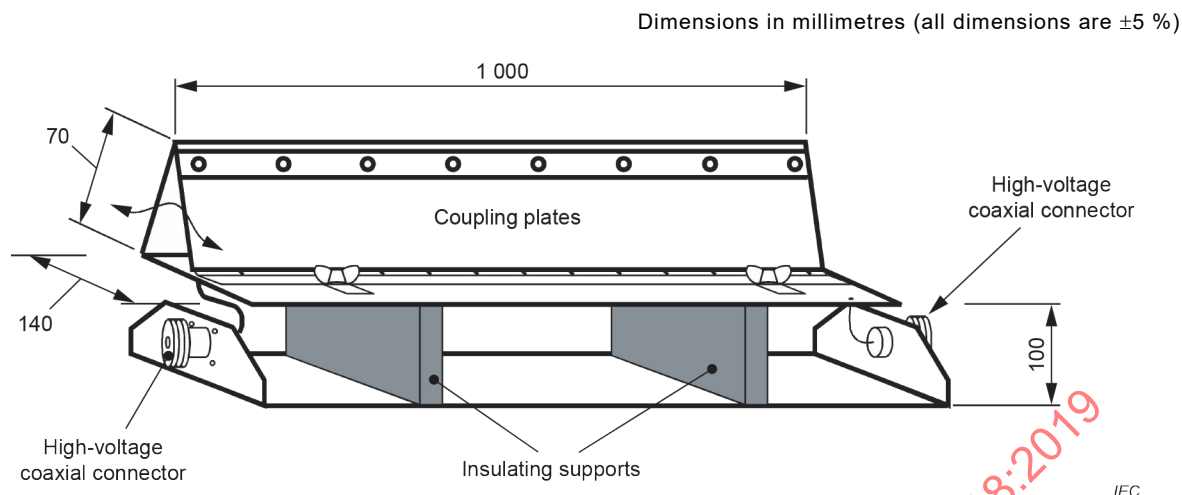


Figure 20 – Example of a capacitive coupling clamp

6.5.2 Calibration of the capacitive coupling clamp

Measurement equipment that is specified as suitable to perform the calibrations defined in 6.2.2.3 shall also be used for the calibration of the characteristics of the capacitive coupling clamp.

A transducer plate (see Figure 21) shall be inserted into the coupling clamp, and a connecting adapter with a low inductance bond to ground shall be used for connection to the measurement terminator/attenuator. A setup is given in Figure 22.

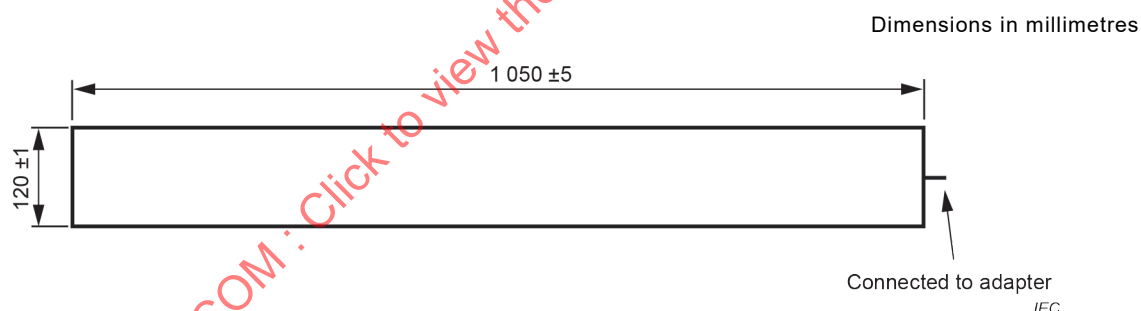


Figure 21 – Transducer plate for coupling clamp calibration

The transducer plate shall consist of a metallic sheet 120 mm × 1 050 mm of maximum 0,5 mm thickness, isolated on top and bottom by a dielectric sheet of 0,5 mm. Isolation of at least 2,5 kV on all sides shall be guaranteed in order to avoid the clamp contacting the transducer plate. At one end it is connected by a low impedance connection of a maximum length of 30 mm to the connecting adapter. The transducer plate shall be placed in the capacitive coupling clamp such that the end with the connection is aligned with the end of the lower coupling plate. The connecting adapter shall support a low impedance connection to the RGP for grounding of the 50 Ω coaxial measurement terminator/attenuator. The distance between the transducer plate and the 50 Ω measurement terminator/attenuator shall not exceed 0,1 m.

NOTE The clearance between the upper coupling plate and transducer plate is not significant.

The specifications given below shall be calibrated with a single 50 Ω termination.

The clamp shall be calibrated with a generator, which has been shown to be in compliance with the requirements of 6.2.2.3.

The calibration is performed with the FDOWG output voltage set to 2 kV.

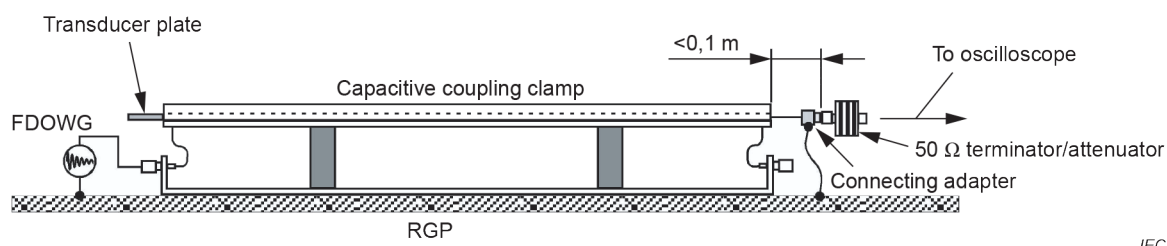


Figure 22 – Calibration of a capacitive coupling clamp using the transducer plate

The FDOWG is connected to the input of the coupling clamp.

The peak voltage and waveform parameters are recorded at the transducer plate output located at the opposite end of the clamp.

The waveform characteristics shall meet the following requirements:

- peak voltage $(1\,000 \pm 200)$ V
- oscillation frequencies $(3 \pm 0,6)$ MHz, (10 ± 2) MHz, (30 ± 6) MHz.

7 Test setup

7.1 Test equipment

The test setup includes the following equipment:

- earthing connections;
- RGP (required for fast damped oscillatory wave tests and optional for slow damped oscillatory wave tests);
- EUT;
- SDOWG or FDOWG;
- CDN;
- capacitive coupling clamp (for fast damped oscillatory wave tests);
- AE.

The test voltage shall be applied via the CDN, provided the network is suitable for the operating signal of the EUT ports.

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:

- damped oscillatory wave generator (SDOWG or FDOWG);
- CDN;
- capacitive coupling clamp (for fast damped oscillatory wave tests);
- interconnection cables;
- measurement instrumentation.

To verify that the system functions correctly, the following signals should be checked:

- damped oscillatory wave present at the output of the CDN;

- fast damped oscillatory wave present at the capacitive coupling clamp.

It is sufficient to verify that the damped oscillatory wave (see Figure 1) is present at any level by using suitable measuring equipment (e.g. oscilloscope) without an EUT connected to the system.

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

An example of the verification setup of the capacitive coupling clamp is given in Figure 23. A similar procedure can be applied to verify the presence of the damped oscillatory wave at the EUT port of a CDN.

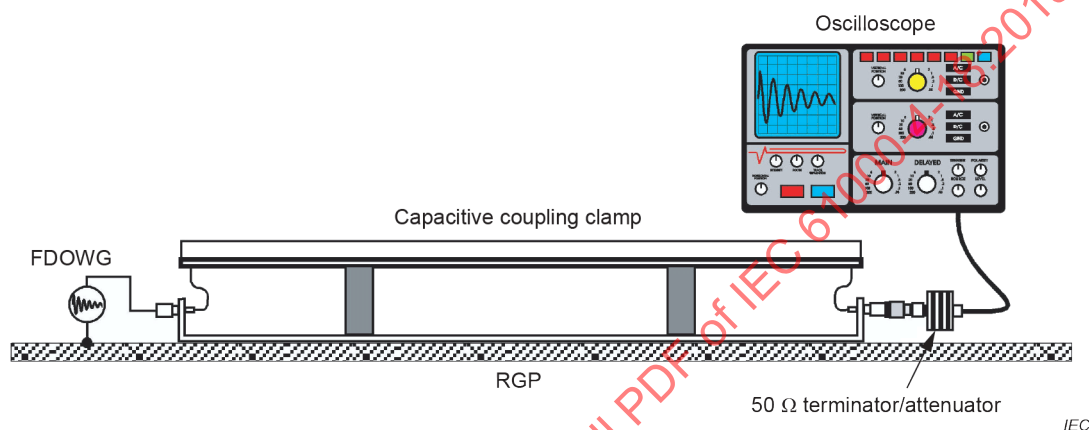


Figure 23 – Example of a verification setup of the capacitive coupling clamp

7.3 Test setup

7.3.1 General

Floor standing EUTs and equipment designed to be mounted in other configurations, unless otherwise mentioned, shall be insulated from ground by an insulating support with a thickness of $(0,1 \pm 0,05)$ m including non conductive rollers/castors (see Figure 24).

Table-top equipment and equipment normally mounted on ceilings or walls as well as built-in equipment can be tested on a table. There shall be no requirement for the table height. When an RGP is used, the EUT shall be located $(0,1 \pm 0,01)$ m above it.

NOTE 1 Testing of large table-top equipment or multiple systems can be performed on the floor, maintaining the same distances as for the test setup of table-top equipment.

The test generator and the coupling/decoupling network shall be bonded to the ground.

In performing the tests, the safety earthing requirements of the manufacturer of the EUT and of the test equipment shall be observed.

In setting up the test configuration, the earthing of the test generator, coupling/decoupling network, EUT and auxiliary equipment can be achieved by using an RGP or proper earthing connections.

The EUT shall be arranged and connected to satisfy its functional requirements, according to the equipment installation specifications. The minimum distance between the EUT and all other conductive structures shall be more than 0,5 m.

All cables to the EUT shall be placed on the insulation support 0,1 m above ground. Cables not subject to this test shall be routed as far as possible from the cable under test to minimize the coupling between the cables. A cable length of 1 m shall be used for EUTs having a detachable power cord unless the cable length is specified by the manufacturer. EUTs with non-detachable cables shall be tested with their actual cable length. When several cable lengths are specified, then the shortest length shall be used for testing.

The EUT shall be connected to the earthing system in accordance with the manufacturer's installation specifications; no additional earthing connections are allowed.

Decoupling networks or common mode absorbing devices can be used to protect auxiliary equipment and public networks.

The distance between any coupling devices and the EUT shall be $(0,5^{+0,1}_0)$ m for table-top equipment testing, and $(1,0 \pm 0,1)$ m for floor standing equipment unless otherwise specified in product standards. When it is not physically possible to apply the distances mentioned above, other distances can be used and shall be recorded in the test report.

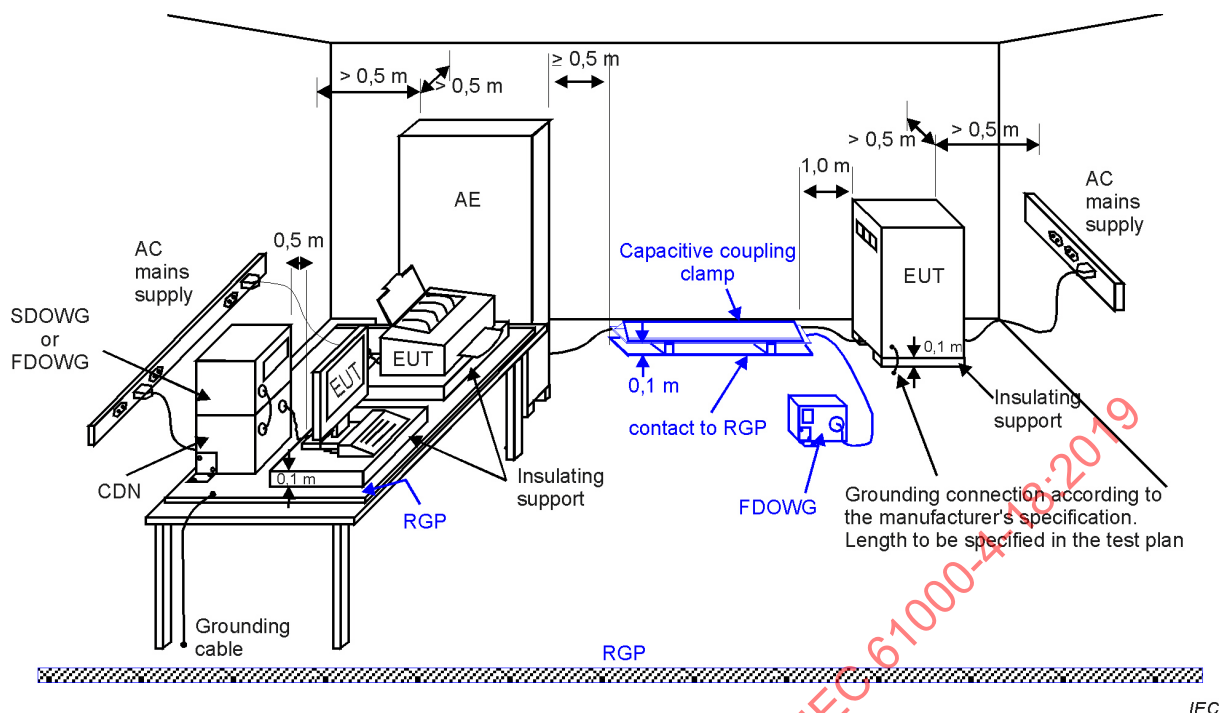
The cable between the EUT and the coupling device, if detachable, shall be as short as possible to comply with the requirements of 7.3.1. If the manufacturer provides a cable exceeding the distance between the coupling device and the point of entry of the EUT, the excess length of this cable shall be bundled and situated at a distance of 0,1 m above the RGP when used.

The parts of the EUT with interconnecting cables of a length less than 3 m, which are not tested, shall be placed on the isolation support. The parts of the EUT shall have a distance of 0,5 m between them. Excess cable length shall be bundled.

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

NOTE 2 Product committees can decide that power ports not connected to distribution networks require testing according to this document using a CDN.

No line-to-ground testing is applied for double-insulated products (i.e. products without any dedicated earth terminal). Product committees may decide if line-to-ground testing is applicable to double-insulated products with earthed connections other than PE.



NOTE Figure elements in "blue" are only applicable when testing for fast damped oscillatory waves (see 7.3.2).

Figure 24 – Example of a test setup

7.3.2 Particular requirements for tests on shielded lines for slow damped oscillatory waves

The EUT is isolated from the ground and the SDOW is applied to its metallic enclosure; the termination (or auxiliary equipment) at the port(s) under test is grounded. The test applies to equipment with one or more shielded cables (see Figure 25).

NOTE The RGP mentioned in Figure 25 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 the 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 25) 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 are 10 m or less according to the manufacturer's specification.

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 SDOW to shielded lines are as follows:

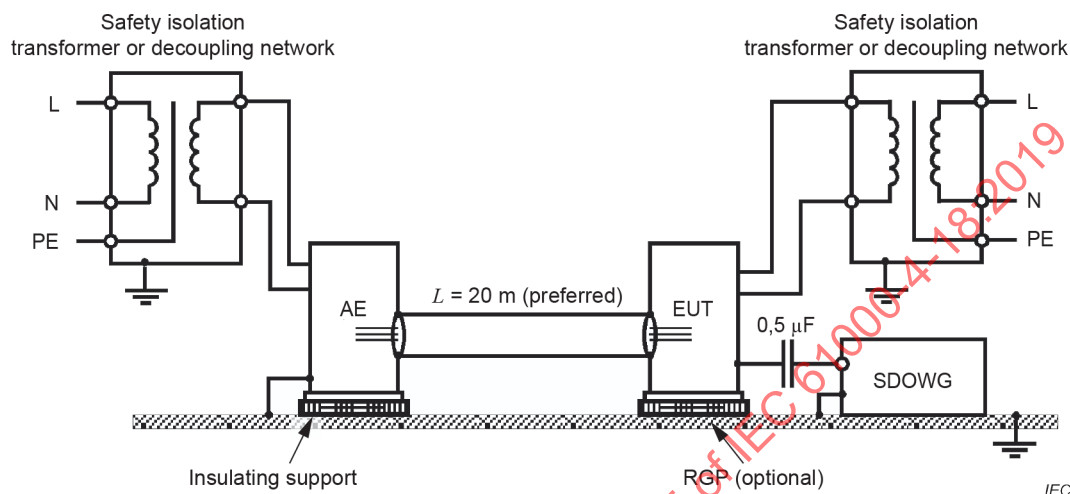
- 1) Shields grounded at both ends:
 - the test shall be carried out according to Figure 25.
 The test level is applied on shields with a 0,5 μF coupling capacitor.

2) Shields grounded at one end:

- the test shall be carried out according to 7.3.1 (see Figure 6).

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

For EUTs which do not have metallic enclosures, the SDOW 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.

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

Where it is necessary to isolate the AE equipment from the SDOW, 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 the 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 25 – Example of test setup applied to shielded lines

7.3.3 Particular requirements for the test setup for fast damped oscillatory waves testing

Floor standing EUTs and equipment designed to be mounted in other configurations, unless otherwise mentioned, shall be placed on an RGP and shall be insulated from it by an insulating support with a thickness of $(0,1 \pm 0,05)$ m including non conductive rollers/castors (see Figure 24).

Table-top equipment and equipment normally mounted on ceilings or walls as well as built-in equipment shall be tested with the EUT located $(0,1 \pm 0,01)$ m above the RGP.

The test generator and the coupling/decoupling network shall be bonded to the RGP.

An RGP shall be used when testing for fast damped oscillatory waves. The RGP (systematically required above 1 MHz) shall be a metal sheet (copper or aluminium) with a minimum thickness of 0,25 mm. Other metals can be used, but in this case, they shall have a minimum thickness of 0,65 mm.

The EUT, auxiliary equipment, and test equipment shall be placed on the RGP and shall be connected. The connections to the RGP shall be as short as possible.

The minimum size of the RGP is 1 m × 1 m; the final size depends on the dimensions of the EUT. The RGP shall be projected beyond the EUT and its auxiliary equipment by at least 0,1 m on all sides.

More than one metal sheet can be required to realize a sufficiently large RGP when testing large table-top equipment or multiple systems. In this case multiple metal sheets shall be connected to each other along their adjacent sides to form a larger RGP. Connections shall be made using a short (i.e. less than 10 cm length) braid or cord and they shall not be spaced more than 10 cm apart.

The RGP shall be connected to the safety earth system of the laboratory.

All cables to the EUT shall be placed on the insulation support 0,1 m above the RGP.

The connection impedance of the CDN earth cables to the RGP and all bondings shall provide a low inductance.

The minimum distance between the EUT and all other conductive structures (including the generator, AE and the walls of a shielded room), except the RGP shall be more than 0,5 m.

Either a CDN or a capacitive clamp shall be used for the application of the test voltages on interconnection lines. The test voltages shall be coupled to all of the EUT ports in turn including those between two units of equipment involved in the test, unless the length of the interconnecting cable makes it impossible to test (see Figure 26).

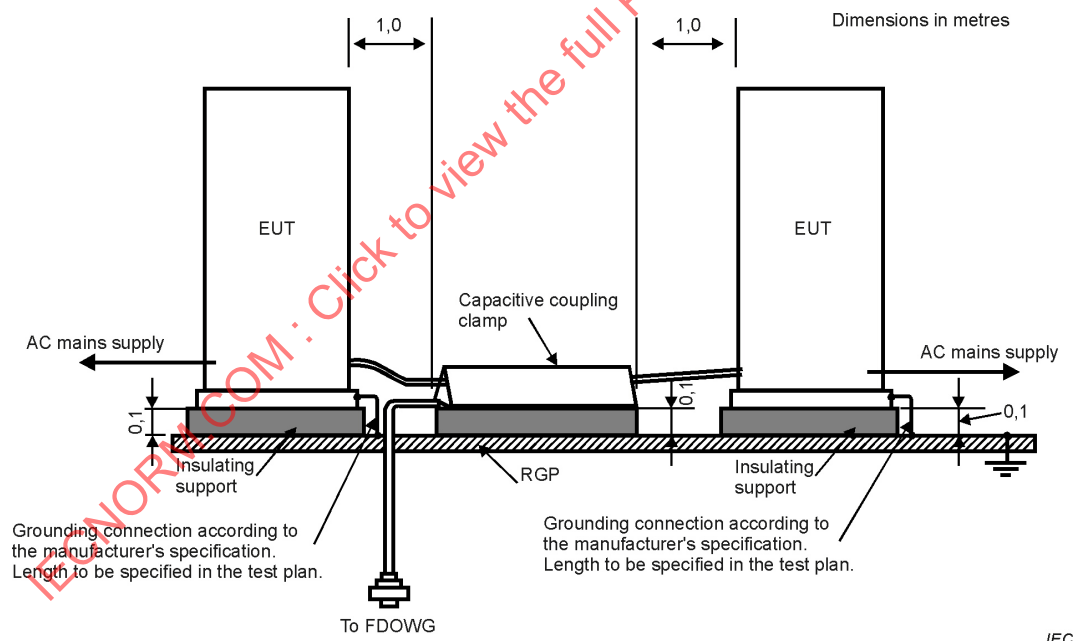


Figure 26 – Example of test setup using a floor standing system of two EUTs

NOTE 1 The cable length to be tested is usually specified by product committees.

NOTE 2 Equipment without cables provided are tested according to the operating/installation instruction or with a worst case scenario.

When using the coupling clamp, the minimum distance between the coupling plates and all other conductive surfaces (including the generator), except the RGP beneath the coupling clamp and beneath the EUT, shall be at least 0,5 m.

The cable between the EUT and the coupling device, if detachable, shall be as short as possible to comply with the requirements of 7.3.3. If the manufacturer provides a cable

exceeding the distance between the coupling device and the point of entry of the EUT, the excess length of this cable shall be bundled and situated at a distance of 0,1 m above the RGP. When a capacitive clamp is used as a coupling device, the excess cable length shall be bundled at the AE side.

7.4 Equipment under test

The equipment under test shall be arranged and connected according to the equipment installation specifications.

The operating signals for exercising the EUT may be provided by auxiliary equipment, or by a simulator.

The input and output circuits connected to auxiliary equipment shall be provided with decoupling networks to prevent interference to that equipment.

The cables supplied or specified by the equipment manufacturer shall be used or, in their absence, unshielded cables shall be adopted, of the type suitable for the signals involved.

The communication lines (data lines) shall be connected to the EUT by the cables given in the technical specification or standard for this application. They shall be at least 1 m in length.

7.5 Coupling/decoupling networks

If the CDN is a stand-alone unit, the test generator shall be placed close to the CDN. The connecting cable between the CDN and generator shall be less than 1 m. The CDN shall be connected to the RGP if used and the connection shall be as short as possible.

8 Test procedure

8.1 General

The test procedure includes:

- the verification of the test instrumentation according to 7.2;
- the verification of the laboratory reference conditions;
- the verification 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 by the committee responsible for the generic or product standard, 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 causes any 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 EUT shall operate in its normal operating conditions.

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

- test level;
- coupling method (CDN or capacitive coupling clamp);
- mode of application of the test voltage (line-to-ground, line-to-line, between cabinets);
- polarity of the test voltage: positive and negative damped oscillatory wave impulses;
- for FDOW tests per port: the duration shall not be less than the time necessary for the EUT to be exercised and to respond but in no case less than 1 min;
- for SDOW tests per port: the total burst duration during the time necessary for the EUT to be exercised and to respond, but in no case less than 1 min, can be divided into separate bursts (for example six bursts of 10 s separated by a 10-s pause);
- EUT ports to be tested;
- sequence of application of the test voltage to the EUT ports;
- representative operating conditions of the EUT;
- test generator selected for each test (SDOWG or FDOWG);
- AE.

NOTE 1 Product committees can choose other test durations.

NOTE 2 In the case of several identical circuits, representative tests on a selected number of circuits can be sufficient.

When testing line-to-ground, all lines are tested in common mode unless specified otherwise.

Power ports (AC or DC) can be input ports or output ports.

Tests on output ports are recommended in applications where damped oscillatory waves are likely to enter the EUT via those output ports (e.g. switching of loads with large power consumption).

In the case where an EUT having DC/DC input converters cannot power up through the appropriate CDN which fulfils the specifications given in Table 4 or Table 5, respectively, it is permitted to implement an additional circuit to the CDN's input (see Figure C.1). In such case, the use of this special CDN shall be described in the test report. Instead of using this special CDN, direct injection of damped oscillatory waves to the converters through a 33 nF capacitor for FDOW or a 0,5 μ F for SDOW can be applied as an alternative test method (see Figure C.2 for FDOW). For shielded cables, the direct injection method according to 7.3.2. shall be applied for SDOW. Annex C includes further information regarding this special case.

Where normal functioning cannot be achieved because of the impact of the CDN on the EUT, the capacitive coupling clamp specified in 6.5 can be used together with the FDOWG.

NOTE Where normal functioning cannot be achieved because of the impact of the CDN on the EUT, product committees can specify that no damped oscillatory immunity test is required.

9 Evaluation of test results

The test results shall be classified in terms of the degradation or reduction of the functional performance of the equipment under test, relative to a permissible degradation defined by product committees or otherwise, by its manufacturer and the requestor of the test, or agreed between the manufacturer and the purchaser of the product. The classification (performance criterion) is recommended as follows:

- a) normal operation within the specification limits of the equipment;
- b) the functional performance may be reduced by a permissible degradation of operation during the application of the damped oscillatory waves under the condition, that the equipment can self-recover to its normal operation after the damped oscillatory waves have been removed. The permissible degradation should be specified by product committees or, in case of absence, by the manufacturer in conjunction with the product description and documentation including what the user may reasonably expect from the equipment when used as intended. In this case, the permissible degradation is usually agreed between the manufacturer and purchaser. A total loss of function is normally not permissible;

NOTE It is helpful to give examples for permissible degradations.

- c) temporary loss of function or degradation of performance without damaging the equipment, the correction of which operator intervention of the equipment controls is usually required.

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.

In special cases related to functional safety a loss of function or degradation of performance which is not recoverable, owing to damage to hardware or software, or loss of data may be allowed.

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 document;
- 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;

- 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).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-18:2019

Annex A

(informative)

Information on test levels for the damped oscillatory wave

Based on common installation practices, which foresee the use of shielded cables with the screen earthed at both ends on the earth network, the recommended selections of test levels for damped oscillatory waves for the equipment ports are the following:

- Level 1: Ports connected to cables running in a limited area of the control building.
- Level 2: Ports connected to cables of equipment in the control building and relay house (kiosks). The equipment concerned is installed in the control building and relay house.
- Level 3: Ports connected to cables of equipment installed in the relay house. The equipment concerned are those installed in the relay house. For these equipment, level 3 assumes the value of 2,5 kV.
- Level 4: Slow damped oscillatory waves are not applicable to equipment for use in electrical plants, particularly HV substations, while fast damped oscillatory waves are applicable. Whenever this level seems to be necessary, proper mitigation methods should be adopted.
- Level X: Special situations to be analyzed.

The test levels should be selected in accordance with the most realistic installation and environmental conditions.

For HEMP applications, the HEMP generic standard IEC 61000-6-6 [13] describes the specific conditions for applying levels 1 to 4 as well as level X.

Annex B (informative)

Measurement uncertainty (MU) considerations

B.1 General

The reproducibility of EMC tests relies on many factors, or influences, that affect the test results. These influences can be categorized as random or systematic effects. The compliance of the realized disturbance quantity with the disturbance quantity specified by this document is usually confirmed through a set of measurements (e.g. measurement of the rise time of an impulse with an oscilloscope by using a voltage or current probe). 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.

In order to evaluate MU it is necessary to:

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

In immunity tests, estimates and uncertainties are evaluated for the parameters of the disturbance quantity (e.g. rise time, peak and oscillation period). 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.

B.2 Legend for damped oscillatory wave parameters

- T_1 rise time of the damped oscillatory wave (voltage or current, 10 % to 90 %)
- T period of the damped oscillatory wave (voltage, time interval between the first and third zero crossings after the initial peak)
- Pk_1 first peak of the damped oscillatory wave (voltage or current)
- Pk_5 fifth peak of the damped oscillatory wave (voltage or current)
- Pk_{10} tenth peak of the damped oscillatory wave (voltage or current)

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 [8].

B.3 Uncertainty contributors to the damped oscillatory wave MU

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

- reading of peak value
- bandwidth of the measuring system
- shape of the impulse response of the measuring system
- oscilloscope vertical axis measurement error
- measurement system, measurand and setup repeatability (type A)
- calibration of oscilloscope
- calibration of voltage and current probes

B.4 Uncertainty of the output voltage and current measurement

B.4.1 General

In the case of the damped oscillatory wave immunity test, the disturbance quantities are the impulse voltage and current generated by the test generator plus CDN combination and applied to the EUT. As discussed in Clause B.1, an uncertainty budget for each measured parameter of the disturbance quantity is required. The parameters of these disturbance quantities are the rise time T_1 of the (open circuit) voltage and (short circuit) current waveforms, the amplitude of the first peak Pk_1 of the voltage and current waveforms, the voltage waveform frequency $1/T$, the decaying of the voltage and current waveform (ratio between Pk_5 and Pk_1 , Pk_{10} and Pk_1) and the waveform repetition frequency. The evaluation of the measurement uncertainty of the waveform frequency, the decaying of the voltage and current waveform and the waveform repetition frequency, although required, are less demanding. Therefore attention is focused here on the waveform rise time and peak (both voltage and current).

The approach adopted here to evaluate impulse MU is described in B.4.5 and B.4.6. Table B.1 and Table B.2 give examples of uncertainty budgets for the amplitude of the first peak and the rise time parameters, respectively. Each table includes the input quantities that are considered most significant for this example, the details (numerical values, type of probability density function, etc.) of each contributor to MU and the results of the calculations required for determining the uncertainty budget.

The measurement uncertainty of the 3 MHz fast damped oscillatory wave is analyzed. A similar treatment applies to the other fast and slow damped oscillatory waveforms.

B.4.2 Rise time of the 3 MHz damped oscillatory wave

The measurand is the damped oscillatory wave open circuit voltage and short circuit current rise time calculated by using the functional relationship

$$T_1 = \sqrt{(T_{90\%} - T_{10\%} + \delta R)^2 - T_{MS}^2}$$

where

$$T_{MS} = \frac{\alpha}{B}$$

and:

$T_{10\%}$ is the time at 10 % of the first peak amplitude

$T_{90\%}$ is the time at 90 % of the first peak amplitude

δR is the correction for non-repeatability

T_{MS} is the rise time of the step response of the measuring system (10 % to 90 %)

B is the –3 dB bandwidth of the measuring system

α is the coefficient whose value is 360 ± 40 (B in MHz and T_{MS} in ns)

Table B.1 – Example of uncertainty budget for the rise time of the open circuit voltage of the 3 MHz damped oscillatory wave (T_1)

Symbol	Estimate	Unit	Error bound	Unit	PDF*	Divisor	$u(x_i)$	c_i	Unit	$u_i(y)$	Unit
$T_{10\%}$	0,85	ns	0,100 0	ns	triangular	2,45	0,040 82	-1,015 03	1	0,041 44	ns
$T_{90\%}$	6,1	ns	0,100 0	ns	triangular	2,45	0,040 82	1,015 03	1	0,041 44	ns
δR	0	ns	0,15	ns	normal ($k=1$)	1,00	0,150 00	1,015 03	1	0,152 25	ns
α	360	ns · MHz	40	ns · MHz	rectangular	1,73	23,094 01	-0,000 44	1/MHz	0,010 05	ns
B	400	MHz	30	MHz	rectangular	1,73	17,320 51	0,000 39	ns/MHz	0,006 78	ns
							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0,16 359	ns
							$U(y) = 2 \cdot u_c(y)$			0,33	ns
							y			5,17	ns
* Probability density function											

$T_{10\%}$, $T_{90\%}$: is the time reading at 10 % or 90 % of the peak amplitude. The error bound is obtained assuming a sampling frequency of 5 GS/s and trace interpolation capability of the scope (triangular probability density function). If this were not 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 B.4.5. The readings are assumed to be $T_{10\%} = 0,85$ ns and $T_{90\%} = 6,1$ ns.

T_{MS} : is the calculated rise time of the step response of the measuring system. The coefficient α depends on the shape of the impulse response of the measuring system. The range 360 ± 40 is representative of a wide class of systems, each having a different shape of the impulse response (see B.4.5 and Table B.3). 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 and current probe, a cable and a scope) by using the following formula:

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

An estimate of 400 MHz and a 30 MHz error bound of a rectangular probability density function are assumed for B .

δR : is the 10 % to 90 % rise time non-repeatability. It quantifies the lack of repeatability in the measurement of $T_{90\%} - T_{10\%}$ due to the measuring instrumentation, the layout of the measurement setup and the DOWG 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 $s(q_k) = 150$ ps (1 standard deviation of a normal probability density function) and an estimate of 0 ns are assumed.

NOTE For the open circuit voltage and short circuit current the uncertainty budgets are similarly obtained. In the case of the voltage waveform, T_{MS} includes the bandwidth of the voltage probe, while it includes the bandwidth of the shunt or current probe in the case of the current waveform. The functional relationship is the same in both cases.

B.4.3 Peak of the 3 MHz damped oscillatory wave

The measurand is the first peak of the open circuit voltage of the damped oscillatory wave obtained by using the functional relationship

$$Pk_1 = \frac{V_{PR}(1 + \delta R + \delta V)}{1 - \left(\frac{\beta}{B}\right)^2} A$$

where

V_{PR} is the voltage peak reading

A is the DC attenuation of the voltage probe

δR is the correction for non-repeatability

δV is the DC vertical accuracy of the scope

B is the -3 dB bandwidth of the measuring system

β is the coefficient whose value is $(4,2 \pm 0,5)$ MHz

Table B.2 – Example of uncertainty budget for the peak of the open circuit voltage of the 3 MHz damped oscillatory wave (P_{k4})

Symbol	Estimate	Unit	Error bound	Unit	PDF*	Divisor	$u(x_i)$	c_i	Unit	$u_i(y)$	Unit
V_{PR}	0,97	V	0,001 9	V	triangular	2,45	$\frac{0,000}{77}$	1000,11	1	0,773 52	V
A	1 000	1	50	1	rectangular	1,73	$\frac{28,867}{51}$	0,970 11	V	28,004 58	V
δR	0	1	0,03	1	normal (k=1)	1,00	$\frac{0,030}{00}$	970,107	V	29,103 21	V
δV	0	1	0,02	1	rectangular	1,73	$\frac{0,011}{55}$	970,107	V	11,201 83	V
β	4,2	MHz	0,5	MHz	rectangular	1,73	$\frac{0,288}{68}$	0,050 94	V/MHz	0,014 70	V
B	400	MHz	30	MHz	rectangular	1,73	$\frac{17,320}{51}$	$\frac{-0,000}{53}$	V/MHz	0,009 26	V
							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0,0419 2	kV
							$U(y) = 2 \cdot u_c(y)$			0,08	kV
							Estimate y			0,97	kV

* 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 DC 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 DC. 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 B.4.6). The interval $4,2 \pm 0,5$ is representative of a wide class of systems, each having a different shape of impulse response.

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

NOTE For the open circuit voltage and short circuit current the uncertainty budgets are similarly obtained. In the case of the voltage waveform, T_{MS} includes the bandwidth of the voltage probe, while it includes the bandwidth of the shunt or current probe in the case of the current waveform. The functional relationship is the same in both cases.

B.4.4 Further MU contributions to time measurements

Further contributions to time measurements are:

Time base error and jitter: the oscilloscope specifications can 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 is often negligible.

B.4.5 Rise time of the step response and bandwidth of the frequency response of the measuring system

Let T_{MS} be the rise time of the step response of the measuring system as defined by

$$T_{MS} = \sqrt{2\pi \int_0^{\infty} (t - T_s)^2 \cdot h_0(t) dt} \quad (B.1)$$

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

$$T_s = \int_0^{\infty} t h_0(t) dt$$

Formula (B.1) 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 time definition is usually adopted. Given the –3 dB bandwidth of the system the two definitions lead to comparable rise times. Indeed, if one defines

$$\alpha = T_{MS}B$$

it follows 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 B.3. It is evident from Table B.3 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 Formula (B.1)) 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 ($321 \cdot 10^{-3}$) and maximum ($399 \cdot 10^{-3}$) values that appear in Table B.3, that is $360 \cdot 10^{-3}$. Further, it can be assumed that, if no information is available about the measuring system apart from its bandwidth, any value of α between $321 \cdot 10^{-3}$ and $399 \cdot 10^{-3}$ is equally probable. Differently stated, α is assumed to be a random variable having a rectangular probability density function with lower and upper bounds of $321 \cdot 10^{-3}$ and $399 \cdot 10^{-3}$, 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 B.3 – α factor of different unidirectional impulse responses corresponding to the same bandwidth of system B

Values of α are multiplied by 10^3	Gaussian	I order	II order (critical damp.)	Rectangular	Triangular
α – using Formula (B.1)	332	399	363	321	326
α – 10 % to 90 %	339	350	344	354	353

B.4.6 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

$$V_{\text{out}}(t) = \int_0^t V_{\text{in}}(\tau) h(t-\tau) d\tau \quad (\text{B.2})$$

where $V_{\text{in}}(t)$ is the input impulse waveform and $h(t)$ is the impulse response of the measuring system. $A \cdot h(t) = h_0(t)$, where A is the DC 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

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

The first order term is missing from Formula (B.3) since $V_{\text{in}}'(t_p) = 0$. 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 Formula (B.3) into Formula (B.2) 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), one obtains

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

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

$$\beta = \alpha \sqrt{\frac{|V_{in}''(t_p)|}{4\pi V_p}}$$

The parameter β depends on the second derivative of the standard input waveform (or measured output waveform) and on the parameter α defined and derived in B.4.5. The mathematical expression for the standard damped oscillatory waveform is given in 4.1 and the value is numerically calculated as $\beta = (4,2 \pm 0,5)$ kHz.

B.5 Application of uncertainties in the damped oscillatory waveform compliance criterion

In order to provide evidence that the damped oscillatory wave generated is in compliance with the requirements of this document, the calibration results shall be compared with the tolerances specified by this document. Tolerances shall not be reduced by MU.

Further guidance is given in IEC TR 61000-1-6:2012, Article 6 [8].

Annex C (informative)

Issues relating to powering EUTs having DC/DC converters at the input

C.1 General

As industry mandates energy saving equipment design, especially in classic data server 'farms' and central office locations that can contain hundreds or thousands of server/router communications equipment running continuously, the equipment manufacturers are re-designing their equipment to be more efficient and less wasteful of energy in the form of heat dissipation. One of the largest wasteful components has been the power supply. By designing the equipment power supplies to operate from DC voltage and then converting the nominal input voltage to the voltages required by the circuits of the system, vast amounts of energy can be conserved when using modern switching design controlled by microprocessor technologies to only draw power from the source when actually needed by the loading circuits. Larger storage capacitors formerly used to store energy between conduction cycles are being eliminated or reduced dramatically. The result is that the input current of such DC/DC power supplies is no longer true direct current. It has become pulsed current. The frequency of this pulsed current is often a problem when passing through the inductor used in the decoupling network of the CDNs. The inductance of the decoupling network was selected to provide very low reactance to DC and AC power line frequencies typically up to 50 Hz or 60 Hz. As frequency increases, so does the inductive reactance. Thus, for damped oscillatory waves, the reactance becomes very high and effectively attenuates the impulse from passing through to the source supply connected to the CDN. The impulse is therefore 'steered' to the EUT output of the CDN. The frequency of the input current pulses of DC/DC converters is evolving to faster and faster speeds to more effectively increase efficiency. As these switching supply technologies are evolving to use PWM (pulse width modulation) techniques, the input current of these supplies is becoming a complex waveform actually containing many frequencies and their harmonics (due to the square wave nature of the pulses). As a result, the decoupling inductor, through which this current flows to its source, cannot pass these rapid changes in current. Its high reactance to these high frequency transitions causes the voltage supplied to the EUT to drop instantaneously. Because the EUT supply has little capacitance to 'hold up' voltage to its loads, its output voltage drops. This can cause the load equipment circuitry to stop working or to perform erratically. The DC/DC supply has rapidly responding circuitry so it immediately attempts to draw more current from its source. It would change its PWM (duty cycle) to increase current from the source. This change effectively changes the frequency of the chopped current through the decoupling inductor which can further reduce instantaneous voltage to the EUT or increase it depending upon the frequency effect of the PWM, and the cycle starts over again.

Another issue for active DC/DC converters is that the presence of an inductance between the DC power source and the DC/DC converter input can cause self-oscillations due to the dynamic voltage/current ratio of the input signal. dI/dV is negative for small excursions from the nominal voltage, and for some converters this, in combination with the gain/phase properties of the converter control loop, can cause unwanted self-oscillation. The stability margin of the DC/DC converter in combination with the CDN is in general not known by the testing laboratory.

While the switch to EUT power supplies is evolving to employ more energy efficient DC power inputs to such telecommunications EUT equipment, test laboratories have to acquire DC power supplies to supply power to the inputs of the CDNs used for compliance testing to power up those EUT products. Modern technology has also changed the world of laboratory DC power supplies. Today these supplies also use switching mode technologies and have very sophisticated circuitry employed to keep their output voltage and current constant under a variety of changing loads while also reducing wasted energy in the form of heat, unlike the ageing linear power supply technologies. This circuitry can pose a problem when powering up devices having DC/DC converters on their inputs due to the changing current and complex current waveforms caused by the switching frequencies of those DC/DC converters. The DC

source supplies might not be able to cope with such rapid changes in load. Also their output impedance, when coupled to the CDN decoupling inductance and load inductance of the EUT, could make them susceptible to oscillation. Additionally, many of these DC supplies cannot tolerate or cope with the effect of any residual impulses passing through the decoupling network and can be damaged. Test engineers need to really study and understand the limitations of such supplies as used for compliance testing to ensure their suitability for such applications.

C.2 Considerations for remediation

If a cause has not been found for the EUT not to power up through the CDN, the next step is to determine if the issue is due to the decoupling inductance limiting voltage to the EUT or whether the source DC supply is unable to maintain its output voltage, is oscillating or a combination of both. These are not always simple tasks to determine. Simultaneously viewing the input voltage and line current to the EUT with a dual channel oscilloscope can reveal whether there are oscillations or switching frequency spikes affecting the input voltage to the EUT. It is essential to have knowledge of all switching frequencies of the EUT supply as well as its minimum and maximum input voltage levels. If the waveform is complex (containing numerous frequencies at different amplitudes), it is probably due to contamination from the DC source supply, such as its own switching frequencies and noise generations. Often it is required to eliminate sources of frequency contamination one step at a time, such as changing the source DC power supply or even eliminating the source DC supply by substituting storage batteries (e.g. automobile batteries work well) to attain the proper input voltage and current ratings. If the issue is an oscillation and is believed to be caused by the decoupling inductance, then inserting a resistor-diode circuit in series with the source input to the CDN as shown in Figure C.1 can dampen or eliminate the oscillation. If it is damped enough so that the voltage does not exceed the EUT DC/DC power supply's minimum and maximum tolerances, then this should be sufficient to allow the EUT to power up and to perform the damped oscillatory wave testing. As every EUT supply and source DC supply is different, it requires some intelligent experimentation to attain the optimal value of resistance for the optimum damping. This circuit, which is placed on the input to the CDN, will not affect waveform parameters as specified in this document. Sometimes adding the damping circuit shown in Figure C.1 is needed.

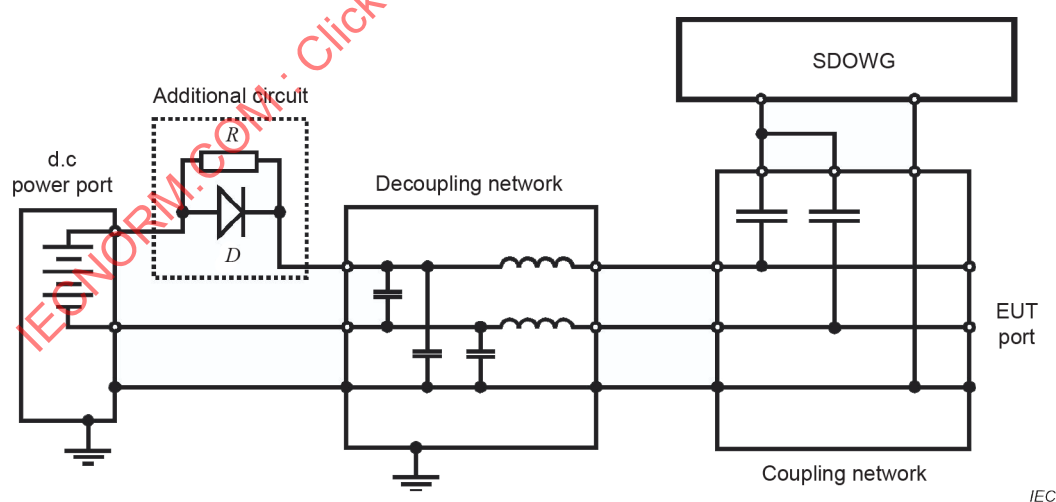


Figure C.1 – Example of the addition of a damping circuit to the CDN for DC/DC converter EUTs

An alternative test method to the modified CDN can be the direct injection of damped oscillatory waves through a 33 nF capacitor for FDOW or a 0,5 μ F for SDOW as shown in Figure C.2.

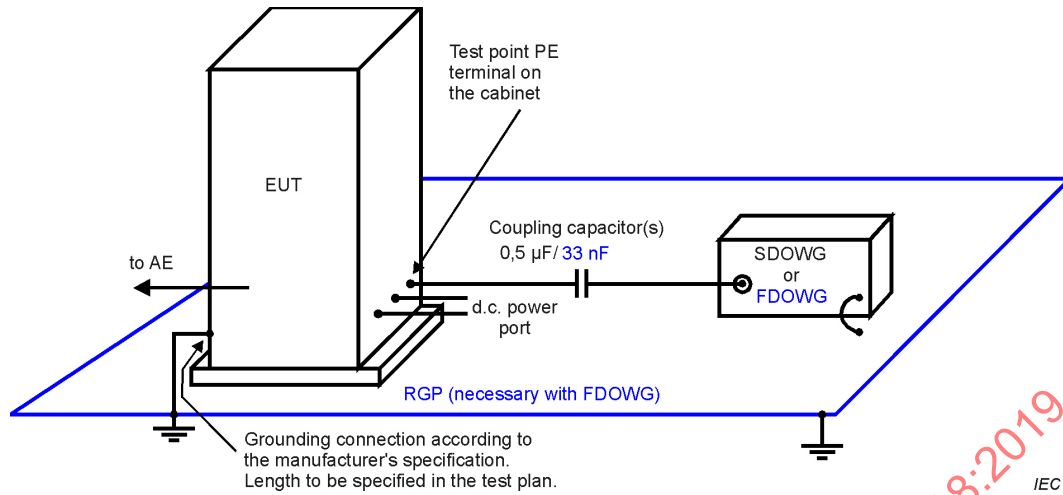


Figure C.2 – Example of direct injection of damped oscillatory waves

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-18:2019

Bibliography

- [1] IMPOSIMATO, C., HOEFFELMAN, J., ERIKSSON, A., SIEW, WH., PRETORIUS, PH., WONG, PS. EMI Characterization of HVAC Substations – Updated data and Influence on Immunity Assessment. CIGRE Paper 36-108, Paris, 2002.
 - [2] IEC TS 60816, *Guide on methods of measurement of short duration transients on low-voltage power and signal lines*
 - [3] IEC 60068-1, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*
 - [4] IEC 61000-2-9, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 9: Description of HEMP environment – Radiated disturbance*
 - [5] IEC 61000-2-10, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-10: Environment – Description of HEMP environment – Conducted disturbance*
 - [6] IEC 60694, *Common specifications for high-voltage switchgear and controlgear standards*
 - [7] IEC 61000-4-25, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-25: Testing and measurement techniques – HEMP immunity test methods for equipment and systems*
 - [8] IEC TR 61000-1-6:2012, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 1-6: General – Guide to the assessment of measurement uncertainty*
 - [9] IEC TR 61000-2-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-5: Environment – Description and classification of electromagnetic environments*
 - [10] IEC TR 61000-4-1, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-1: Testing and measurement techniques – Overview of IEC 61000-4 series*
 - [11] IEC 61010-1, *Safety requirements for electrical equipment for measurement, control, and laboratory use – Part 1: General requirements*
 - [12] IEC Guide 107, *Electromagnetic compatibility – Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications*
 - [13] IEC 61000-6-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 6-6: Generic standards – HEMP immunity for indoor equipment*
 - [14] IEC 60050-311, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 311: Electrical and electronic measurements – General terms relating to measurements* (available at www.electropedia.org)
 - [15] IEC 61000-4-4, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	61
INTRODUCTION	63
1 Domaine d'application	64
2 Références normatives	64
3 Termes, définitions et abréviations	65
3.1 Termes et définitions	65
3.2 Termes abrégés	67
4 Généralités	68
4.1 Types d'ondes oscillatoires amorties	68
4.2 Phénomène de type onde oscillatoire amortie lente	69
4.3 Phénomène de type onde oscillatoire amortie rapide	70
4.3.1 Généralités	70
4.3.2 Perturbations produites par l'appareillage	70
4.3.3 Perturbations produites par l'impulsion électromagnétique à haute altitude (IEMN-HA)	71
5 Niveaux d'essai	71
6 Instrumentation d'essai	72
6.1 Généralités	72
6.2 Générateurs d'ondes oscillatoires amorties	73
6.2.1 Générateur d'ondes oscillatoires amorties lentes	73
6.2.2 Générateur d'ondes oscillatoires amorties rapides	75
6.3 Réseaux de couplage/découplage	78
6.3.1 Généralités	78
6.3.2 Réseaux de couplage/découplage pour ondes oscillatoires amorties lentes	78
6.3.3 Réseaux de couplage/découplage pour ondes oscillatoires amorties rapides	85
6.4 Étalonnage des réseaux de couplage/découplage	88
6.4.1 Généralités	88
6.4.2 Étalonnage de CDN pour ondes oscillatoires amorties lentes	88
6.4.3 Étalonnage de CDN pour ondes oscillatoires amorties rapides	89
6.5 Pince de couplage capacitive pour ondes oscillatoires amorties rapides	91
6.5.1 Caractéristiques de la pince de couplage capacitive	91
6.5.2 Étalonnage de la pince de couplage capacitive	92
7 Montage d'essai	93
7.1 Matériel d'essai	93
7.2 Vérification de l'instrumentation d'essai	93
7.3 Montage d'essai	94
7.3.1 Généralités	94
7.3.2 Exigences particulières concernant les essais sur les lignes blindées pour les ondes oscillatoires amorties lentes	96
7.3.3 Exigences particulières concernant le montage d'essai dédié aux ondes oscillatoires amorties rapides	97
7.4 Matériel en essai	99
7.5 Réseaux de couplage/découplage	99
8 Procédure d'essai	99

8.1	Généralités	99
8.2	Conditions de référence du laboratoire.....	100
8.2.1	Conditions climatiques.....	100
8.2.2	Conditions électromagnétiques.....	100
8.3	Réalisation de l'essai	100
9	Évaluation des résultats d'essai.....	101
10	Rapport d'essai	102
Annexe A (informative) Informations relatives aux niveaux d'essai pour l'onde oscillatoire amortie.....		103
Annexe B (informative) Considérations relatives à l'incertitude de mesure (MU)		104
B.1	Généralités	104
B.2	Légende applicable aux paramètres de l'onde oscillatoire amortie	104
B.3	Contributeurs à l'incertitude de mesure de l'onde oscillatoire amortie	105
B.4	Incertitude de mesure de la tension et du courant de sortie	105
B.4.1	Généralités	105
B.4.2	Temps de montée de l'onde oscillatoire amortie de 3 MHz.....	105
B.4.3	Crête de l'onde oscillatoire amortie de 3 MHz.....	107
B.4.4	Autres contributions à l'incertitude de mesure pour les mesurages de temps	108
B.4.5	Temps de montée de la réponse échelonnée et largeur de bande de la réponse en fréquence du système de mesure	109
B.4.6	Crête d'impulsion et déformation de largeur du fait de la largeur de bande limitée du système de mesure.....	110
B.5	Application des incertitudes au critère de conformité de la forme d'onde oscillatoire amortie.....	111
Annexe C (informative) Problèmes liés à l'alimentation des EUT équipés de convertisseurs continu/continu en entrée.....		112
C.1	Généralités	112
C.2	Considérations pour la correction.....	113
Bibliographie.....		115
Figure 1 – Exemple de forme d'onde oscillatoire amortie		69
Figure 2 – Exemple de schéma du circuit du générateur pour l'onde oscillatoire amortie lente.....		73
Figure 3 – Représentation d'une onde oscillatoire amortie lente		74
Figure 4 – Exemple de schéma du circuit du générateur d'essai pour l'onde oscillatoire amortie rapide.....		75
Figure 5 – Représentation d'une onde oscillatoire amortie rapide		76
Figure 6 – Sélection de la méthode de couplage/découplage pour les ondes oscillatoires amorties lentes.....		79
Figure 7 – Exemple de CDN pour couplage capacitif sur des lignes à courant continu/alternatif: couplage ligne à terre		80
Figure 8 – Exemple de CDN pour couplage capacitif sur des lignes à courant alternatif (trois phases): couplage ligne à terre		80
Figure 9 – Exemple de CDN pour couplage capacitif sur des lignes à courant continu/alternatif: couplage ligne à ligne		81
Figure 10 – Exemple de CDN pour couplage capacitif sur des lignes à courant alternatif (trois phases): couplage entre la ligne L2 et la ligne N		81
Figure 11 – Exemple de CDN pour les lignes d'interconnexion: couplage ligne à terre		82

Figure 12 – Exemple de CDN pour les lignes d'interconnexion non blindées et non symétriques: couplage ligne à ligne et ligne à terre	83
Figure 13 – Exemple de CDN pour les lignes d'interconnexion non blindées symétriques: couplage ligne à terre	84
Figure 14 – Exemple de CDN pour les lignes d'interconnexion non blindées symétriques: couplage ligne à terre par condensateurs	85
Figure 15 – Exemple de CDN pour alimentation monophasée en courant alternatif/continu: couplage ligne à terre	86
Figure 16 – Exemple de CDN pour alimentation triphasée en courant alternatif: couplage ligne à terre	86
Figure 17 – Exemple de CDN destiné aux lignes d'interconnexion pour ondes oscillatoires amorties rapides: couplage ligne à terre	87
Figure 18 – Exemple de montage d'étalonnage de CDN dédiés aux accès d'alimentation en courant alternatif/continu pour les ondes oscillatoires amorties rapides	90
Figure 19 – Exemple de montage d'étalonnage de CDN dédiés aux lignes d'interconnexion pour les ondes oscillatoires amorties rapides	90
Figure 20 – Exemple de pince de couplage capacitive	92
Figure 21 – Plaque transducteur pour l'étalonnage de la pince de couplage	92
Figure 22 – Étalonage d'une pince de couplage capacitive en utilisant la plaque transducteur	93
Figure 23 – Exemple de montage de vérification de la pince de couplage capacitive	94
Figure 24 – Exemple de montage d'essai	96
Figure 25 – Exemple de montage d'essai appliqué aux lignes blindées	97
Figure 26 – Exemple de montage d'essai utilisant un système de deux EUT posés au sol	98
Figure C.1 – Exemple d'ajout d'un circuit d'amortissement sur le CDN pour les EUT à convertisseurs continu/continu	114
Figure C.2 – Exemple d'injection directe des ondes oscillatoires amorties	114
Tableau 1 – Valeurs des paramètres de $w(t)$ pour chaque fréquence d'oscillation de la norme	68
Tableau 2 – Niveaux d'essai pour l'onde oscillatoire amortie lente (100 kHz ou 1 MHz)	72
Tableau 3 – Niveaux d'essai pour l'onde oscillatoire amortie rapide (3 MHz, 10 MHz ou 30 MHz)	72
Tableau 4 – Spécifications de la forme d'onde oscillatoire amortie au niveau de l'accès de l'EUT des CDN pour ondes oscillatoires amorties lentes	89
Tableau 5 – Spécifications de la forme d'onde oscillatoire amortie au niveau de l'accès de l'EUT des CDN pour ondes oscillatoires amorties rapides	91
Tableau B.1 – Exemple de bilan d'incertitude pour le temps de montée de la tension en circuit ouvert de l'onde oscillatoire amortie de 3 MHz (T_1)	106
Tableau B.2 – Exemple de bilan d'incertitude pour la crête de la tension en circuit ouvert de l'onde oscillatoire amortie de 3 MHz (Pk_1)	108
Tableau B.3 – Facteur α de différentes réponses impulsionnelles unidirectionnelles correspondant à la même largeur de bande du système B	110

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –**Partie 4-18: Techniques d'essai et de mesure –
Essai d'immunité à l'onde oscillatoire amortie****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. À 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 61000-4-18 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 4-18 de la série IEC 61000. Elle a le statut d'une publication fondamentale en CEM conformément au Guide 107 de l'IEC.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 2006 et l'Amendement 1:2010. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) ajout d'une modélisation mathématique de la forme d'onde oscillatoire amortie;

- b) nouvelle Annexe B sur l'incertitude de mesure;
- c) ajout d'un CDN à grande vitesse;
- d) ajout des procédures d'étalonnage pour les CDN;
- e) ajout de l'utilisation de la pince de couplage capacitive sur les lignes d'interconnexion pour les ondes oscillatoires amorties rapides;
- f) ajout d'une procédure d'essai pour les convertisseurs continu/continu en cas de non-fonctionnement du CDN;
- g) nouvelle Annexe C sur les problèmes liés à l'alimentation des EUT équipés de convertisseurs continu/continu en entrée.

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

FDIS	Rapport de vote
77B/797/FDIS	77B/799/RVD

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

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

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

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

Le contenu du corrigendum d'août 2019 a été pris en considération dans cet exemplaire.

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, selon 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'émissions

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 d'essai

Partie 5: Lignes directrices d'installation et d'atténuation

Lignes directrices 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 est une norme internationale qui donne les exigences d'immunité et les procédures d'essai relatives aux ondes oscillatoires amorties.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-18: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité à l'onde oscillatoire amortie

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61000 traite des exigences d'immunité et des méthodes d'essai des matériels électriques et électroniques dans des conditions d'exploitation, vis-à-vis:

- a) des ondes oscillatoires amorties lentes répétitives se manifestant principalement sur les câbles d'alimentation, de commande et de signal installés dans les postes à haute et à moyenne tension (HT/MT);
- b) des ondes oscillatoires amorties rapides répétitives se produisant principalement sur les câbles d'alimentation, de commande et de signal installés dans les postes métalliques sous enveloppes à isolation gazeuse (GIS) et dans certains cas également dans les postes à isolation par air (AIS) ou toute installation du fait des phénomènes d'impulsion électromagnétique à haute altitude (IEMN-HA).

Le présent document a pour objet d'établir une référence commune reproductible dans le but d'évaluer l'immunité des matériels électriques et électroniques, quand ils sont soumis aux ondes oscillatoires amorties sur des accès d'alimentation, de signal, de commande et par les bornes de terre. La méthode d'essai documentée dans cette partie de l'IEC 61000 décrit une méthode logique en vue d'évaluer l'immunité d'un équipement ou d'un système vis-à-vis d'un phénomène donné.

NOTE Comme décrit dans le Guide 107 de l'IEC, il s'agit d'une publication fondamentale en CEM pour une utilisation par les comités de produits de l'IEC. Comme indiqué également dans le Guide 107, les comités de produits de l'IEC sont chargés de déterminer si cette norme d'essai d'immunité est appliquée ou non. Si tel est le cas, il leur incombe de déterminer les niveaux d'essai et les critères d'aptitude à la fonction appropriés.¹

Le document définit:

- la tension d'essai et les formes d'ondes de courant;
- les plages de niveaux d'essais;
- le matériel d'essai;
- les procédures d'étalonnage et de vérification du matériel d'essai;
- les montages d'essai;
- une procédure d'essai.

2 Références normatives

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

IEC 60050–161, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Partie 161: Compatibilité électromagnétique* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

¹ 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.

3 Termes, définitions et abréviations

3.1 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et les définitions de l'IEC 60050-161 ainsi que les suivants, s'appliquent.

L'ISO et l'IEC tiennent à jour des bases de données terminologiques destinées à être utilisées en normalisation, consultables aux adresses suivantes:

- IEC Electropedia: disponible à l'adresse <http://www.electropedia.org/>
- ISO Online browsing platform: disponible à l'adresse <http://www.iso.org/obp>

NOTE Plusieurs des termes et définitions les plus pertinents de l'IEC 60050-161 sont présentés parmi les définitions ci-dessous.

3.1.1

poste à isolation par air

AIS

poste ne comportant que de l'appareillage à isolation par air

Note 1 à l'article: L'abréviation «AIS» est dérivée du terme anglais développé correspondant «air insulated substation».

3.1.2

équipement auxiliaire

AE

équipement nécessaire pour fournir au matériel en essai (EUT) les signaux exigés pour un fonctionnement normal et servant à vérifier le fonctionnement de l'EUT

Note 1 à l'article: L'abréviation «AE» est dérivée du terme anglais développé correspondant «auxiliary equipment».

3.1.3

salve

suite d'un nombre fini d'impulsions distinctes ou oscillation de durée limitée

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-02-07]

3.1.4

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]

3.1.5

pince de couplage capacitive

dispositif de dimensions et de caractéristiques définies pour le couplage en mode commun du signal perturbateur dans le circuit en essai sans aucune connexion galvanique avec ce dernier

3.1.6

couplage

interaction entre circuits avec transfert d'énergie d'un circuit à un autre

3.1.7

réseau de couplage

circuit électrique dont le but est de transférer de l'énergie d'un circuit à un autre

3.1.8

réseau de découplage

circuit électrique dont le but est d'empêcher les tensions d'essai appliquées à l'EUT d'influencer d'autres appareils, équipements ou systèmes qui ne font pas partie de l'essai

3.1.9

dégradation (de fonctionnement)

écart non désiré des caractéristiques de fonctionnement d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système par rapport aux caractéristiques attendues

Note 1 à l'article: Une dégradation peut être un défaut de fonctionnement temporaire ou permanent.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990,161-01-19]

3.1.10

poste à isolation gazeuse

GIS

poste ne comportant que de l'appareillage sous enveloppe métallique à isolation gazeuse

Note 1 à l'article: L'abréviation «GIS» est dérivée du terme anglais développé correspondant «gas insulated (metal-enclosed) substation».

[SOURCE: IEC 60050-605:1983,605-02-14, modifié – "sous enveloppe métallique" a été enlevée du terme.]

3.1.11

impulsion électromagnétique à haute altitude

IEMN-HA

impulsion électromagnétique produite par une explosion nucléaire en dehors de l'atmosphère terrestre

Note 1 à l'article: Typiquement au-delà d'une altitude de 30 km.

3.1.12

compatibilité électromagnétique

CEM

aptitude d'un équipement ou d'un système à fonctionner dans son environnement électromagnétique de façon satisfaisante et sans produire lui-même des perturbations électromagnétiques intolérables pour tout ce qui se trouve dans cet environnement

[SOURCE: IEC 60050-161:2018,161-01-07]

3.1.13

immunité (à une perturbation)

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

accès

interface particulière entre l'EUT et l'environnement électromagnétique extérieur

3.1.15**plan de masse de référence****RGP**

surface conductrice plate dont le potentiel électrique est identique à celui de la terre de référence, qui est utilisée comme référence commune, et qui contribue à une capacité parasite reproductible avec l'environnement du matériel en essai (EUT)

Note 1 à l'article: Un plan de masse de référence est nécessaire pour les mesures de perturbations conduites, et sert de référence pour la mesure des tensions perturbatrices dissymétriques et asymétriques.

Note 2 à l'article: Dans certaines régions, le terme anglais 'earth' est utilisé à la place de 'ground'.

Note 3 à l'article: L'abréviation «RGP» est dérivée du terme anglais développé correspondant «reference ground plane».

[SOURCE: IEC 60050-161:1990,161-04-36]

3.1.16**temps de montée**

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

[SOURCE: IEC 60050-161:1990,161-02-05, modifié – La note a été incluse dans la définition]

3.1.17**transitoire**, adj. 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]

3.1.18**vérification**

ensemble des opérations utilisées pour vérifier le système du matériel d'essai (par exemple le générateur d'essai et les câbles d'interconnexion) et pour démontrer que le système d'essai fonctionne à l'intérieur des spécifications données à l'Article 6

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: La procédure de 6.2.1.3 et de 6.2.2.3 est destinée à servir de guide permettant de garantir le fonctionnement correct du générateur d'essai et des autres dispositifs constituant le montage d'essai, de telle sorte que la forme d'onde prévue soit délivrée à l'EUT.

3.2 Termes abrégés

AE	auxiliary equipment (équipement auxiliaire)
AIS	poste à isolation par air
CDN	coupling/decoupling network (réseau de couplage/découplage)
TER/S	transitoires électriques rapides en salves
CEM	compatibilité électromagnétique
EUT	equipment under test (matériel en essai)
FDOW	fast damped oscillatory wave (ondes oscillatoires amorties rapides)
FDOWG	fast damped oscillatory wave generator (générateur d'ondes oscillatoires amorties rapides)
GDT	gas discharge tube (tube à décharge)
GIS	poste à isolation gazeuse
IEMN-HA	impulsion électromagnétique à haute altitude

HT	haute tension
MU	measurement uncertainty (incertitude de mesure)
MT	moyenne tension
PE	protective earth (terre de protection)
MLI	modulation de largeur d'amplitude
RGP	reference ground plane (plan de masse de référence)
SDOW	slow damped oscillatory wave (ondes oscillatoires amorties lentes)
SDOWG	slow damped oscillatory wave generator (générateur d'ondes oscillatoires amorties lentes)

4 Généralités

4.1 Types d'ondes oscillatoires amorties

Les phénomènes de type onde oscillatoire amortie sont divisés en deux parties. La première partie est appelée l'onde oscillatoire amortie lente et comprend des fréquences d'oscillation entre 100 kHz et 1 MHz. La seconde partie est appelée l'onde oscillatoire amortie rapide et comprend des fréquences d'oscillation supérieures à 1 MHz.

La formule de la forme d'onde idéale de la Figure 1, $w(t)$ (tension en circuit ouvert ou courant de court-circuit), est la suivante:

$$w(t) = A \cdot K \cdot \frac{\left(\frac{t}{t_1}\right)^n}{1 + \left(\frac{t}{t_1}\right)^n} \cdot \exp\left(-\frac{t}{t_2}\right) \cdot \cos(2\pi f \cdot t + \phi)$$

Les valeurs des paramètres de $w(t)$ pour la tension en circuit ouvert sont données dans le Tableau 1 pour chaque période d'oscillation de la norme $T = 1/f$.

Tableau 1 – Valeurs des paramètres de $w(t)$ pour chaque fréquence d'oscillation de la norme

Forme d'onde	A	K	n	t_1	f	t_2	ϕ
Rapide 30 MHz	Pk_1	1,19	1,67	2,26 ns	30 MHz	126 ns	$-\pi/2$
Rapide 10 MHz	Pk_1	1,04	2,65	1,69 ns	10 MHz	377 ns	$-\pi/4$
Rapide 3 MHz	Pk_1	1,07	2,30	2,89 ns	3 MHz	1,26 μ s	0
Lente 1 MHz	Pk_1	1,12	2,45	49,8 ns	1 MHz	3,77 μ s	$-\pi/4$
Lente 100 kHz	Pk_1	1,04	1,96	32,7 ns	100 kHz	37,7 μ s	0

Les origines de ces deux types d'ondes oscillatoires amorties sont décrites ci-dessous.

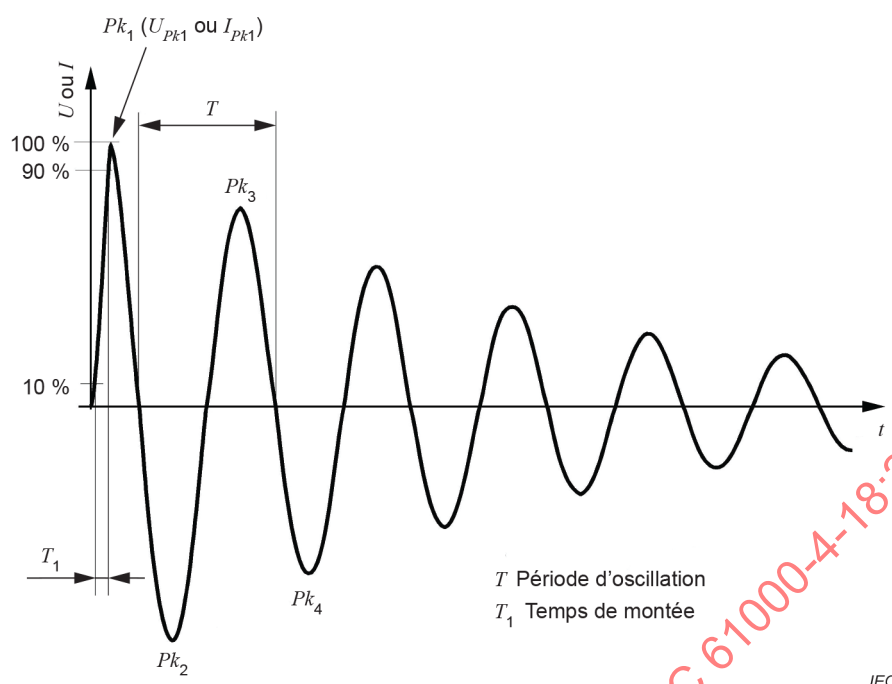


Figure 1 – Exemple de forme d'onde oscillatoire amortie

4.2 Phénomène de type onde oscillatoire amortie lente

Ce phénomène est représentatif des manœuvres de sectionneurs équipant des postes HT/MT extérieurs, en particulier des manœuvres de jeux de barres HT.

Dans les postes, l'ouverture et la fermeture de sectionneurs HT entraîne des transitoires à front raide, dont les temps de montée correspondent à quelques dizaines de nanosecondes.

Le front d'onde de la tension est marqué par des réflexions dues au déséquilibre des impédances caractéristiques des circuits HT concernés. À cet égard, la tension et le courant transitoires qui en résultent au niveau des jeux de barres HT se distinguent par une fréquence d'oscillation fondamentale déterminée par la longueur du circuit et par le temps de propagation.

La fréquence d'oscillation varie d'environ 100 kHz à quelques MHz pour des postes ouverts, en fonction des paramètres mentionnés plus haut et de la longueur des jeux de barres, qui peut aller de quelques dizaines de mètres à quelques centaines de mètres (jusqu'à 400 m).

À cet égard, une fréquence d'oscillation de 1 MHz peut être considérée comme représentative de la plupart des situations, à l'exception des grands postes HT, pour lesquels une fréquence de 100 kHz est jugée appropriée.

La fréquence de répétition est variable entre quelques hertz et quelques kilohertz en fonction de la distance entre les contacts de commutation. Pour les contacts proches, la fréquence de répétition est maximale. En revanche, pour les distances de contact susceptibles de permettre des réamorçages entre les contacts, le taux de répétition est minimal et correspond au double de la fréquence industrielle compte tenu de chaque phase (100/s par phase pour des réseaux de 50 Hz et 120/s par phase pour des réseaux de 60 Hz).

Les taux de répétition de 40/s et 400/s représentent un compromis qui prend en compte les durées variables des phénomènes, les différentes fréquences considérées et l'énergie à laquelle les circuits en essai sont soumis.

Les transitoires de manœuvre et l'injection de courants impulsifs dans les organes électriques (réseaux et matériels électriques) peuvent créer des transitoires oscillatoires répétitifs.

4.3 Phénomène de type onde oscillatoire amortie rapide

4.3.1 Généralités

Il convient que l'essai d'immunité à l'onde oscillatoire amortie rapide couvre les phénomènes présents dans deux environnements spécifiques:

- sous-stations du réseau électrique (produites par l'appareillage);
- toutes les installations exposées à l'impulsion électromagnétique à haute altitude (IEMN-HA).

4.3.2 Perturbations produites par l'appareillage

Au cours des opérations d'ouverture ou de fermeture, entre les deux contacts du dispositif en fonctionnement, un grand nombre de réamorçages se produisent du fait de la faible vitesse des contacts. Par conséquent, les opérations de manœuvres de déconnexion génèrent des transitoires très rapides, qui se propagent comme des ondes mobiles dans les jeux de barres du poste. La longueur des conducteurs électriques et des jeux de barres détermine les fréquences d'oscillation des surtensions transitoires.

Pour les postes à isolation par air (AIS), ces transitoires rayonnent un champ électromagnétique dans l'environnement du poste. Des mesurages ont été réalisés dans des postes à isolation par air en utilisant des instruments ayant une grande largeur de bande de fréquences [1]². Ces mesurages ont révélé que des phénomènes transitoires avec des fréquences supérieures à 1 MHz peuvent aussi se produire dans ces postes.

Pour les postes à isolation gazeuse (GIS), ces transitoires se propagent à l'intérieur de l'enceinte métallique qui contient le gaz SF₆. En raison de l'effet de peau, les transitoires haute fréquence sont confinées à l'intérieur de l'enceinte et ne génèrent aucun problème. Le courant transitoire est transféré vers la surface externe du tube de l'enceinte à tout point de discontinuité. Par conséquent, le potentiel de l'enceinte s'élève et le courant qui s'écoule sur sa surface rayonne un champ électromagnétique dans l'environnement du poste. L'élévation du potentiel de terre transitoire constitue une source directe des courants transitoires en mode commun dans les circuits secondaires. Le champ électromagnétique rayonné induit également des courants en mode commun dans ces circuits.

Des mesurages ont révélé que la fréquence maximale des composantes significatives de densité spectrale pour ces courants peut atteindre 30 MHz à 50 MHz [2].

Comme résumé en [1], l'augmentation de la fréquence d'oscillation des transitoires circulant dans les postes HT est due à la réduction des dimensions hors tout des postes, l'utilisation des GIS et l'installation de matériels électroniques plus près des dispositifs de commutation.

Par conséquent, les fréquences d'oscillation de 3 MHz, 10 MHz et 30 MHz pour les ondes oscillatoires amorties rapides permettent de représenter l'environnement à la fois pour certains AIS et pour tous les GIS.

La fréquence de répétition varie entre quelques hertz et de nombreux kilohertz en fonction de la distance entre les contacts de commutation. La présence de contacts proches entraîne une fréquence de répétition élevée. En revanche, avec une augmentation des distances proportionnelle à une plus grande ouverture des contacts, la fréquence de répétition minimale, compte tenu de chaque phase, équivaut au double de la fréquence d'alimentation (100/s par phase pour les systèmes HT à 50 Hz et 120/s par phase pour les systèmes à 60 Hz).

² Les chiffres entre crochets se réfèrent à la Bibliographie.

Le taux de répétition de 5 000/s représente les taux de répétition les plus élevés mesurés dans les GIS. Ce taux représente toujours un compromis qui prend en compte les durées variables des phénomènes, le caractère adapté des différentes fréquences considérées et le problème lié à l'énergie à laquelle les circuits en essai sont soumis.

4.3.3 Perturbations produites par l'impulsion électromagnétique à haute altitude (IEMN-HA)

L'IEMN-HA telle qu'elle est présentée dans l'IEC 61000-2-9 [4], décrit un champ pulsé intense dû à une onde électromagnétique plane, dont le temps de montée est de 2,5 ns et la largeur d'impulsion est d'environ 25 ns. Ce champ interagit avec les lignes de transmission exposées pour produire une tension et un courant oscillatoires dépendant de la longueur de la ligne (voir IEC 61000-2-10 [5]). La longueur des lignes extérieures d'alimentation et de communications est suffisante (supérieure à 1 km) pour que les courants et tensions couplés soient habituellement de nature impulsionnelle.

Pour les lignes intérieures d'alimentation et de communications, l'IEMN-HA incidente est partiellement atténuée. Toutefois, le champ présent se couple aux câbles intérieurs courts, constituant une menace pour les matériels électroniques raccordés. Les champs IEMN-HA se couplent à ces lignes courtes et produisent des formes d'ondes oscillatoires amorties à haute fréquence avec des fréquences aussi élevées que 100 MHz. Les fréquences inférieures à 30 MHz sont les plus communes (voir IEC 61000-2-10 [5]). Le taux d'amortissement de l'onde oscillatoire est rapide du fait de la présence de murs absorbants, et un facteur de qualité Q à la résonance compris entre 10 et 20 est typique.

Les câblages extérieurs courts (par exemple, des circuits de commande dans les postes ou les centrales électriques) se couplent aux champs IEMN-HA. Des transitoires oscillatoires amortis sont induits dont les fréquences sont comprises entre 1 MHz et 100 MHz.

Une IEMN-HA produit généralement une ou deux impulsions. Un taux de répétition élevé n'est pas nécessaire pour reproduire l'IEMN-HA. Du fait de problèmes de fiabilité de l'électronique numérique, l'application d'un taux de répétition de 5 000/s similaire à celui des perturbations générées par l'appareillage est recommandée. Cette application accroît la probabilité de constater tout dysfonctionnement provoqué par l'IEMN-HA.

Le présent document contient également des informations sur les niveaux d'essai, la spécification du générateur, et les procédures d'essai permettant d'effectuer des essais aux tensions induites par l'IEMN-HA. De nombreuses fréquences existent dans des conditions réalistes, mais les essais sont effectués avec des fréquences d'oscillation jusqu'à 30 MHz conformes à l'environnement des postes.

5 Niveaux d'essai

Les niveaux d'essai préférentiels pour les essais à l'onde oscillatoire amortie, applicables aux accès d'alimentation, de signal et de commande de l'équipement considéré, sont donnés dans le Tableau 2 et le Tableau 3. Le niveau d'essai est lié à la tension de la première crête de la forme d'onde (Pk_1 à la Figure 1).

Différents niveaux peuvent s'appliquer aux accès d'alimentation, de signal et de commande. La différence entre, d'une part, le ou les niveaux utilisés pour les accès de signal et de commande et, d'autre part, le ou les niveaux utilisés pour les accès de l'alimentation électrique ne doit pas être supérieure à un niveau.

**Tableau 2 – Niveaux d'essai pour l'onde oscillatoire amortie lente
(100 kHz ou 1 MHz)**

Niveau	Tension d'essai en circuit ouvert	
	Ligne à ligne kV	Ligne à terre kV
1	0,25	0,5
2	0,5	1
3	1	2 ^a
4 ^b	---	---
X ^c	Spéciale	Spéciale

^a La valeur est portée à 2,5 kV pour les équipements implantés dans les postes.

^b Ce niveau n'est pas applicable à l'onde oscillatoire amortie lente.

^c "X" peut être tout niveau, supérieur, inférieur ou intermédiaire aux autres niveaux. Le niveau doit être précisé dans la spécification des équipements dédiée.

**Tableau 3 – Niveaux d'essai pour l'onde oscillatoire amortie rapide
(3 MHz, 10 MHz ou 30 MHz)**

Niveau	Tension d'essai en circuit ouvert
	Ligne à terre kV
1	0,5
2	1
3	2
4	4
X ^a	Spéciale

^a "X" peut être tout niveau, supérieur, inférieur ou intermédiaire aux autres niveaux. Le niveau doit être précisé dans la spécification des équipements dédiée.

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

6 Instrumentation d'essai

6.1 Généralités

La sortie du générateur doit pouvoir fonctionner dans des conditions de court-circuit.

Le générateur d'essai produit une onde oscillatoire amortie possédant les caractéristiques suivantes quand elle doit être appliquée à l'accès de l'EUT. Si elle est appliquée par l'intermédiaire d'un réseau de couplage/découplage, les caractéristiques sont spécifiées à la sortie de ce réseau.

La sortie du SDOWG doit être flottante. Cette condition est nécessaire pour l'essai des accès de commande et de signal de l'EUT en mode différentiel. Un générateur à deux sorties est nécessaire. La sortie du FDOWG a une sortie coaxiale unique. L'essai avec ce générateur doit être réalisé uniquement en mode commun.

6.2 Générateurs d'ondes oscillatoires amorties

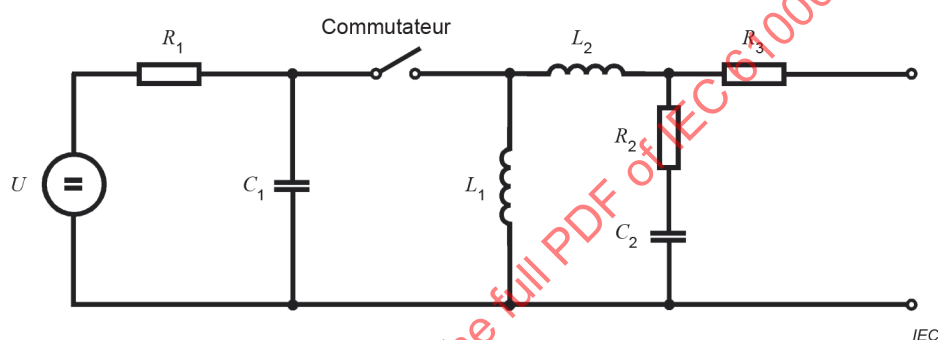
6.2.1 Générateur d'ondes oscillatoires amorties lentes

6.2.1.1 Généralités

L'impédance de sortie du générateur lent a été fixée à $200\ \Omega$, bien que l'impédance réelle des câbles (paires torsadées) soit plus proche de $150\ \Omega$. Ce choix a été fait par souci de ne pas modifier une pratique généralisée, qui concerne les spécifications techniques d'une famille de matériels destinés principalement aux postes à haute tension.

De plus, la longueur des câbles relevant de cette catégorie d'installations électriques et industrielles étant généralement de l'ordre de quelques centaines de mètres, l'impédance de leurs connexions sur le site est par conséquent plus proche de l'impédance caractéristique des câbles, et non inférieure à celle-ci.

La Figure 2 représente un exemple de schéma du circuit du générateur.



Légende

U :	source haute tension	L_2 :	inductance du filtre
R_1 :	résistance de charge	R_2 :	résistance de filtrage
C_1 :	condensateur d'accumulation d'énergie	C_2 :	condensateur de filtrage
Commutateur:	commutateur haute tension	R_3 :	résistance de source
L_1 :	inductance du circuit oscillant		

Figure 2 – Exemple de schéma du circuit du générateur pour l'onde oscillatoire amortie lente

6.2.1.2 Caractéristiques de fonctionnement du générateur de l'onde oscillatoire amortie lente

Les spécifications du générateur de l'onde oscillatoire amortie lente sont les suivantes:

- temps de montée de la tension (T_1 à la Figure 1): $75\text{ ns} \pm 20\%$;
- fréquences d'oscillation de la tension (voir Note 1): $(100\text{ kHz et } 1\text{ MHz}) \pm 10\%$;
- taux de répétition: $40/\text{s}$ à $100\text{ kHz} \pm 10\%$ et $400/\text{s}$ à $1\text{ MHz} \pm 10\%$;
- décroissance de la tension (voir Figure 1): Pk_5 doit être $> 50\%$ de la valeur de Pk_1
et Pk_{10} doit être $< 50\%$ de la valeur de Pk_1 ;
- durée des salves: au moins 2 s ;
- tension en circuit ouvert (valeur de U_{Pk1} , voir Figure 1): $(250\text{ V à } 2,5\text{ kV}) \pm 10\%$;
- courant de court-circuit (valeur de I_{Pk1}): $(1,25\text{ A à } 12,5\text{ A}) \pm 20\%$;

- relation de la phase avec la fréquence d'alimentation: aucune exigence;
- polarité de la première demi-période: positive et négative.

NOTE 1 La fréquence d'oscillation est définie comme l'inverse de la période entre les premier et troisième passages à zéro suivant la crête initiale. Cette période est représentée par T à la Figure 1

NOTE 2 L'impédance effective de sortie est la tension nominale en circuit ouvert U_{Pk1} divisée par le courant nominal de court-circuit I_{Pk1} . La valeur nominale est de 200 Ω .

Des exemples du taux de répétition et de la durée des salves sont donnés à la Figure 3.

La Figure 1 décrit la forme de l'onde oscillatoire amortie lente avec les crêtes marquées.

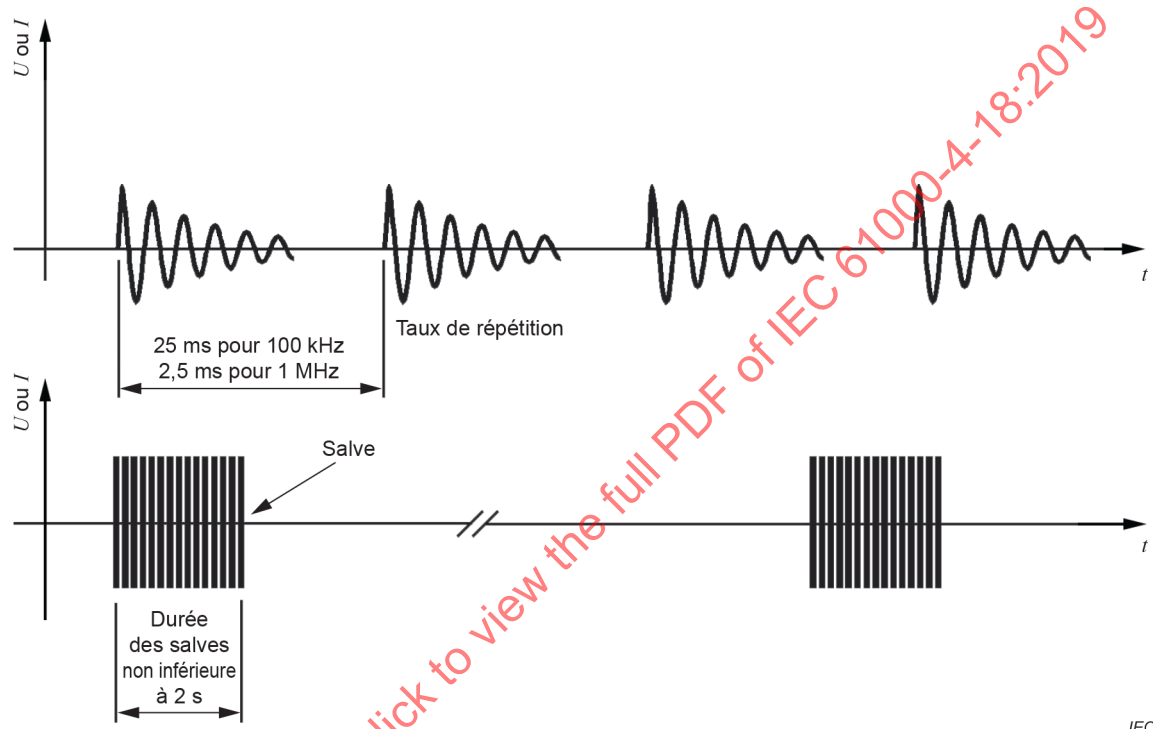


Figure 3 – Représentation d'une onde oscillatoire amortie lente

6.2.1.3 Étalonnage du générateur de l'onde oscillatoire amortie lente

Les caractéristiques du générateur d'essai mentionnées en 6.2.1.2 doivent faire l'objet d'un étalonnage afin d'établir qu'elles satisfont aux exigences du présent document. Les paramètres suivants sont essentiels pour la comparaison de différents générateurs d'essai:

- temps de montée de la tension;
- fréquence d'oscillation;
- taux de répétition;
- décroissance;
- durée des salves;
- tension en circuit ouvert U_{Pk1} (impédance en circuit ouvert: $Z_{oc} \geq 10 \text{ k}\Omega$);
- courant de court-circuit I_{Pk1} (avec une impédance de court-circuit: $Z_{sc} \leq 0,1 \text{ }\Omega$).

Les étalonnages doivent être effectués au moyen des sondes de tension ou de courant (selon le cas) et des oscilloscopes, ou d'autres appareils de mesure équivalents d'une largeur de bande minimale de 40 MHz.

Les caractéristiques de la forme d'onde doivent être vérifiées directement à la sortie du générateur d'essai avec une impédance en circuit ouvert $\geq 10 \text{ k}\Omega$ et des impédances de charge de court-circuit $\leq 0,1 \text{ }\Omega$.

Les étalonnages doivent être effectués aux niveaux d'essai appliqués à l'EUT.

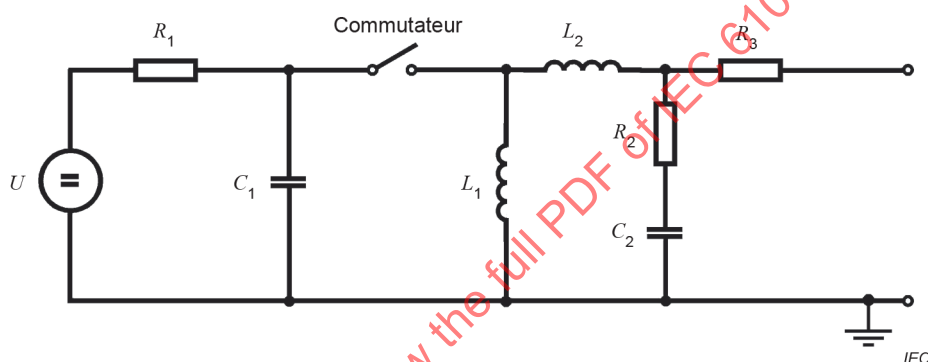
Voir l'Annexe B pour l'incertitude de mesure.

6.2.2 Générateur d'ondes oscillatoires amorties rapides

6.2.2.1 Généralités

L'impédance de sortie du générateur rapide a été fixée à $50 \text{ }\Omega$. La raison pour laquelle l'impédance de $50 \text{ }\Omega$ a été sélectionnée doit être cohérente avec le générateur de TER/S tel qu'il est défini dans l'IEC 61000-4-4 [15].

La Figure 4 représente un exemple de schéma du circuit du générateur rapide.



Légende

U :	source haute tension	L_2 :	inductance du filtre
R_1 :	résistance de charge	R_2 :	résistance de filtrage
C_1 :	condensateur d'accumulation d'énergie	C_2 :	condensateur de filtrage
Commutateur:	commutateur haute tension	R_3 :	résistance de source
L_1 :	inductance du circuit oscillant		

Figure 4 – Exemple de schéma du circuit du générateur d'essai pour l'onde oscillatoire amortie rapide

6.2.2.2 Caractéristiques de fonctionnement du générateur de l'onde oscillatoire amortie rapide

Les spécifications en circuit ouvert du générateur de l'onde oscillatoire amortie rapide sont les suivantes:

- temps de montée de la tension (T_1 à la Figure 1): $5 \text{ ns} \pm 30 \text{ } \%$;
- fréquences d'oscillation de la tension (voir Note 1): $(3 \text{ MHz}, 10 \text{ MHz} \text{ et } 30 \text{ MHz}) \pm 10 \text{ } \%$;
- taux de répétition (voir Figure 5): $5\,000/\text{s} \pm 10 \text{ } \%$;
- décroissance: (voir Figure 1) Pk_5 doit être $> 50 \text{ } \%$ de la valeur de Pk_1
et Pk_{10} doit être $< 50 \text{ } \%$ de la valeur de Pk_1 ;
- durée des salves (voir Figure 5): 3 MHz : $50 \text{ ms} \pm 20 \text{ } \%$;
 10 MHz : $15 \text{ ms} \pm 20 \text{ } \%$;

- période des salves (voir Figure 5): 30 MHz: 5 ms $\pm$ 20 %;
- tension en circuit ouvert (valeur de U_{Pk1} , voir Figure 1): 300 ms $\pm$ 20 %;
- relation de la phase avec la fréquence d'alimentation: (500 V à 4 kV) $\pm$ 10 %;
- polarité de la première demi-période: aucune exigence;
- positive et négative.

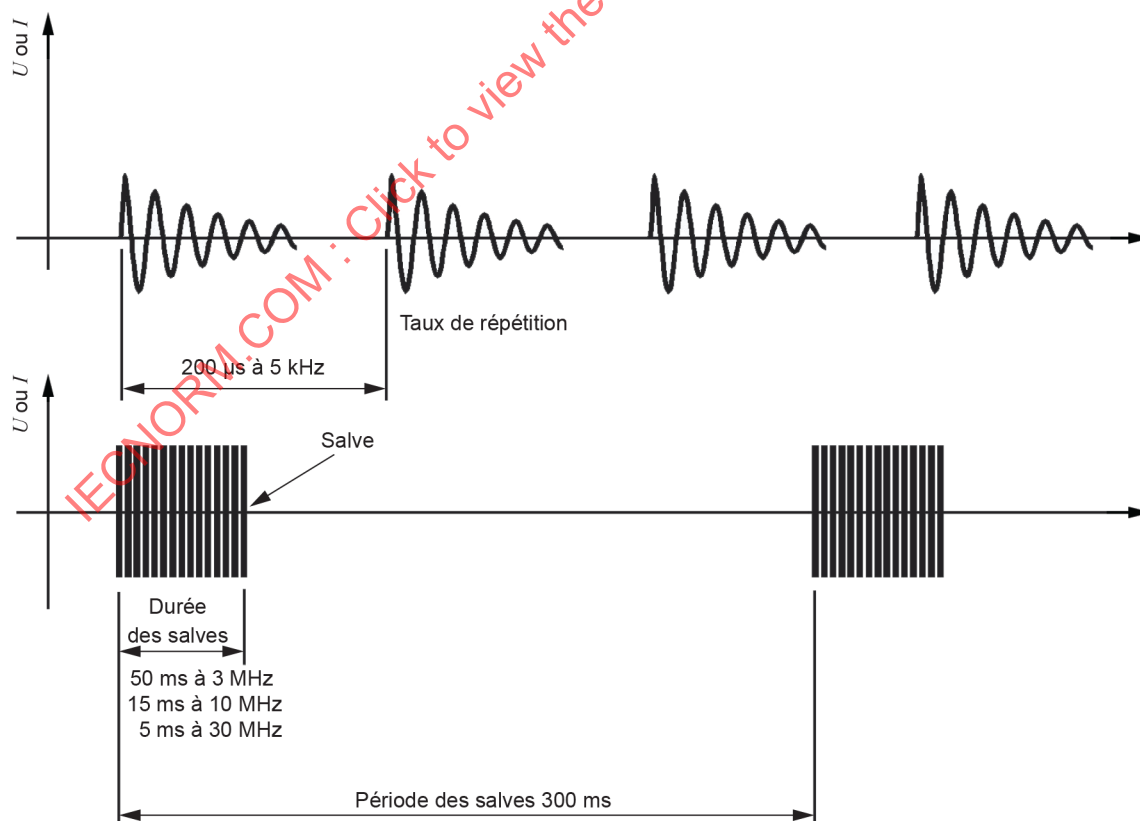
Les spécifications de court-circuit du générateur de l'onde oscillatoire amortie rapide sont les suivantes:

- temps de montée du courant (T_1 à la Figure 1): 3 MHz: < 330 ns;
10 MHz: < 100 ns;
30 MHz: < 33 ns;
- fréquences d'oscillation du courant (voir Note 1): (3 MHz, 10 MHz et 30 MHz) $\pm$ 30 %;
- décroissance: (voir Figure 1) Pk_5 doit être > 25 % de la valeur de Pk_1 et Pk_{10} doit être < 25 % de la valeur de Pk_1 ;
- courant de court-circuit (valeur de I_{Pk1}): de (10 A à 80 A) $\pm$ 20 %.

NOTE 1 La fréquence d'oscillation est définie comme l'inverse de la période entre les premier et troisième passages à zéro suivant la crête initiale. Cette période est représentée par T à la Figure 1

NOTE 2 L'impédance effective de sortie est la tension nominale en circuit ouvert U_{Pk1} divisée par le courant nominal de court-circuit I_{Pk1} . La valeur nominale est de 50 Ω .

La Figure 1 décrit la forme de l'onde oscillatoire amortie rapide avec les crêtes marquées.



IEC

Figure 5 – Représentation d'une onde oscillatoire amortie rapide

6.2.2.3 Étalonnage du générateur de l'onde oscillatoire amortie rapide

Les caractéristiques du générateur d'essai mentionnées en 6.2.2.2 doivent faire l'objet d'un étalonnage afin d'établir qu'elles satisfont aux exigences de la présente norme. Les paramètres suivants sont essentiels pour la comparaison de différents générateurs d'essai:

- temps de montée;
- fréquence d'oscillation;
- taux de répétition;
- décroissance de la forme d'onde de la tension;
- durée des salves;
- période des salves;
- tension en circuit ouvert U_{Pk1} (impédance en circuit ouvert: $Z_{oc} = 1 \text{ k}\Omega \pm 2 \%$);
- temps de montée du courant;
- fréquences d'oscillation du courant;
- décroissance de la forme d'onde du courant;
- courant de court-circuit I_{Pk1} (impédance de court-circuit: $Z_{sc} = 0,10 \text{ }\Omega \pm 2\%$)

Les étalonnages doivent être effectués au moyen des sondes de tension ou de courant (selon le cas) et des oscilloscopes, ou d'autres appareils de mesure équivalents d'une largeur de bande minimale de 400 MHz.

La sonde de tension utilisée doit avoir les caractéristiques suivantes:

- $1 \text{ k}\Omega \pm 2 \%$; ce mesurage est effectué à un courant continu.

La tolérance propre à la perte d'insertion des charges d'essai ne doit pas dépasser:

- $\pm 1 \text{ dB}$ jusqu'à 100 MHz;
- $\pm 3 \text{ dB}$ de 100 MHz à 400 MHz inclus.

La sonde de courant utilisée doit avoir les caractéristiques suivantes:

- $0,1 \text{ }\Omega \pm 2 \%$; ce mesurage est effectué à un courant continu.

La tolérance propre à la perte d'insertion des charges d'essai ne doit pas dépasser:

- $\pm 3 \text{ dB}$ jusqu'à 400 MHz.

Les caractéristiques de la forme d'onde doivent être vérifiées directement à la sortie du générateur d'essai avec des impédances de charges en circuit ouvert et de court-circuit.

La forme d'onde de 30 MHz peut être déformée à l'origine entre Pk_1 et Pk_3 . Les points suivants doivent être pris en compte lors de l'étalonnage à 30 MHz:

- a) Il convient que l'amplitude Pk_1 soit supérieure à Pk_3 afin de définir clairement le point à 100 % pour le calcul du temps de montée et de l'amortissement.
- b) L'amplitude Pk_2 peut être supérieure à Pk_1 . Dans ce cas, la valeur Pk_1 est toujours appropriée pour le point à 100 %.

Les étalonnages doivent être effectués aux niveaux d'essai appliqués à l'EUT.

Voir l'Annexe B pour l'incertitude de mesure.

6.3 Réseaux de couplage/découplage

6.3.1 Généralités

Chaque réseau de couplage/découplage (CDN) comprend un réseau de couplage et un réseau de découplage, comme le représentent les exemples donnés en 6.3.2 pour une onde lente et en 6.3.3 pour une onde rapide.

Le CDN permet à la fois d'appliquer la tension d'essai, soit en mode commun (pour les deux générateurs), soit en mode différentiel (seulement 100 kHz, 1 MHz), aux accès de signal et de commande et à l'alimentation de l'EUT, et d'éviter que la tension d'essai ne provoque le brouillage des équipements auxiliaires nécessaires pour réaliser l'essai.

Les capacités de couplage de 0,5 μF pour l'onde oscillatoire amortie lente ou de 33 nF pour l'onde oscillatoire amortie rapide des réseaux de couplage doivent donner un affaiblissement de couplage inférieur à 10 %.

Le CDN doit comporter une borne de terre dédiée.

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 préférentiels sont des condensateurs. Lors d'un couplage aux lignes d'interconnexion, la forme d'onde peut être déformée par les mécanismes de couplage décrits en 6.3.2.3.

Chaque CDN doit satisfaire aux exigences de 6.3 et doit être conforme aux exigences d'étalonnage de 6.4.

Un RGP est utilisé pour une configuration d'onde oscillatoire amortie rapide. Pour une configuration d'onde oscillatoire amortie lente, aucun RGP n'est nécessaire (un RGP est systématiquement exigé au-dessus d'une fréquence de 1 MHz).

6.3.2 Réseaux de couplage/découplage pour ondes oscillatoires amorties lentes

6.3.2.1 Sélection des réseaux de couplage/découplage

Le choix d'utiliser des CDN s'effectue selon l'organigramme suivant (voir Figure 6):

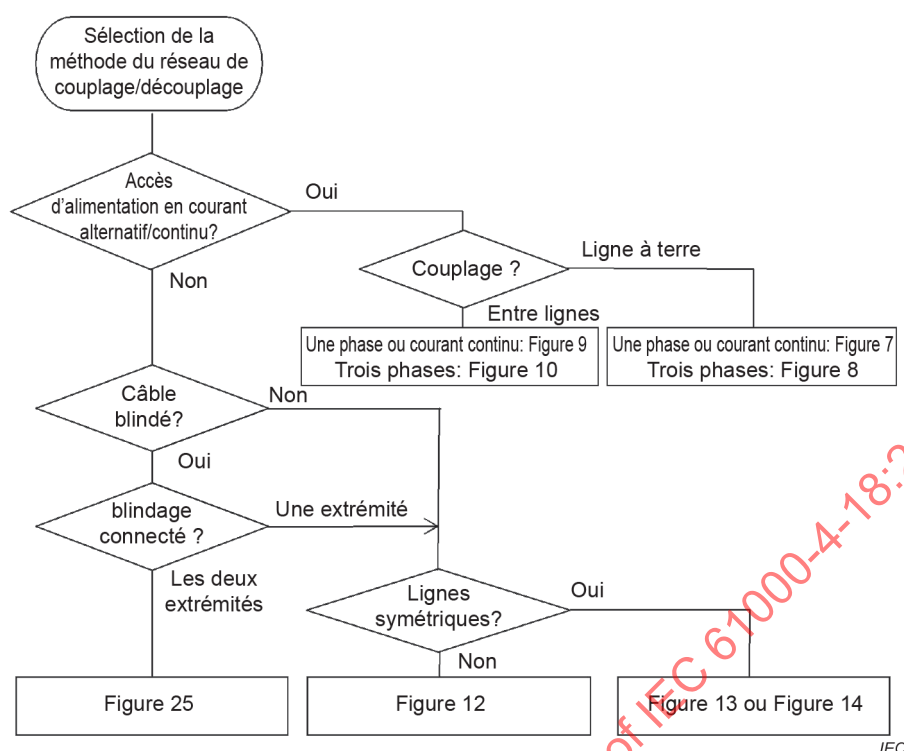


Figure 6 – Sélection de la méthode de couplage/découplage pour les ondes oscillatoires amorties lentes

6.3.2.2 Réseaux de couplage/découplage destinés aux accès d'alimentation en courant continu/alternatif jusqu'à 32 A inclus

Pour les lignes d'alimentation en courant continu ou alternatif, le réseau de découplage fournit une impédance relativement élevée à la forme d'onde oscillatoire amortie lente et permet simultanément l'écoulement du courant vers l'EUT. Cette impédance permet de développer la forme d'onde de tension à la sortie du CDN. Les condensateurs haute tension sont utilisés pour les éléments de couplage et assignés pour permettre le couplage de la durée de forme d'onde complète à l'EUT.

NOTE Actuellement, tous les équipements concernés par le présent document ont des courants assignés pouvant atteindre 32 A. Par conséquent, les CDN dont les courants assignés sont supérieurs à 32 A n'ont pas été pris en compte.

L'inductance de découplage doit être sélectionnée par le fabricant de CDN de sorte que la chute de tension au niveau du CDN ne doit pas dépasser 10 % de la tension d'entrée du réseau au courant assigné spécifié. Il convient toutefois que la chute de tension ne dépasse pas 1,5 mH.

Des exemples de CDN pour des accès d'alimentation en courant continu/alternatif sont représentés de la Figure 7 à la Figure 10.

Lorsque l'EUT est déconnecté, la tension oscillatoire amortie résiduelle (de Pk_1 à Pk_{10}) sur les entrées d'alimentation du réseau de découplage ne doit pas dépasser 15 % de la tension d'essai appliquée ou deux fois la valeur de crête de la tension assignée du réseau de couplage/découplage, selon la plus grande des deux valeurs.

Les caractéristiques susmentionnées s'appliquent aux réseaux monophasés (phase, neutre, terre de protection) et pour les réseaux triphasés (trois phases, neutre et terre de protection).

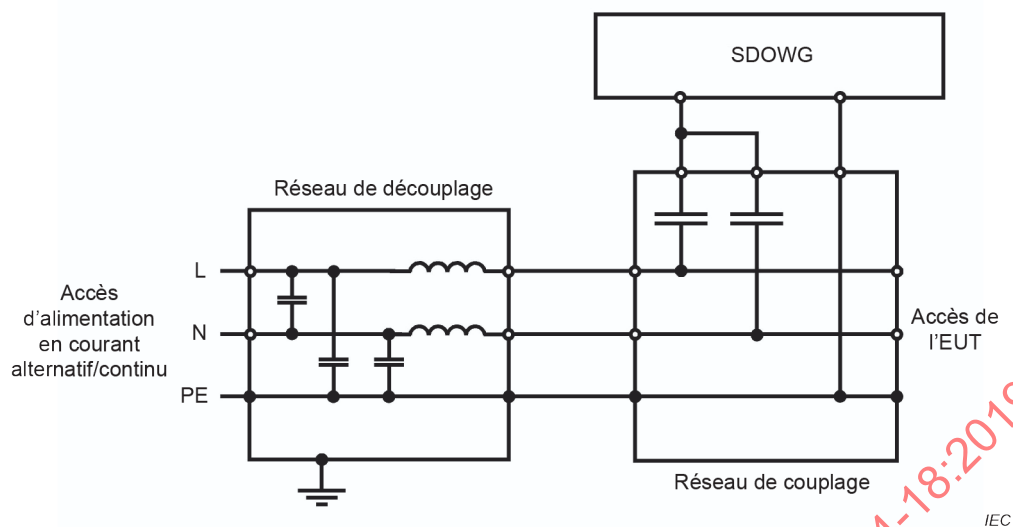


Figure 7 – Exemple de CDN pour couplage capacitif sur des lignes à courant continu/alternatif: couplage ligne à terre

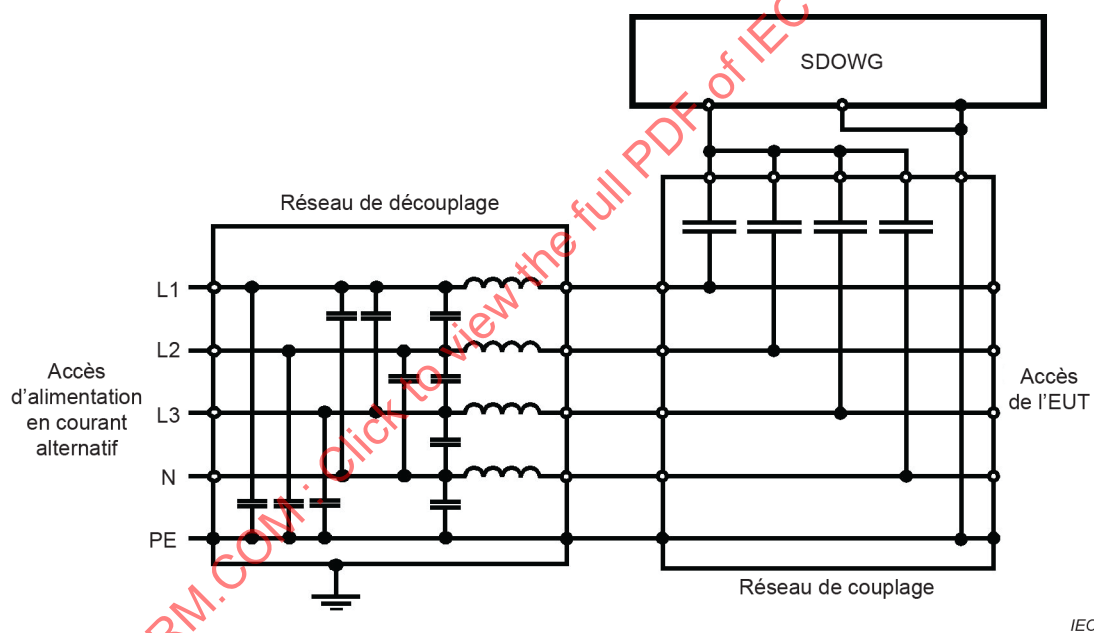


Figure 8 – Exemple de CDN pour couplage capacitif sur des lignes à courant alternatif (trois phases): couplage ligne à terre

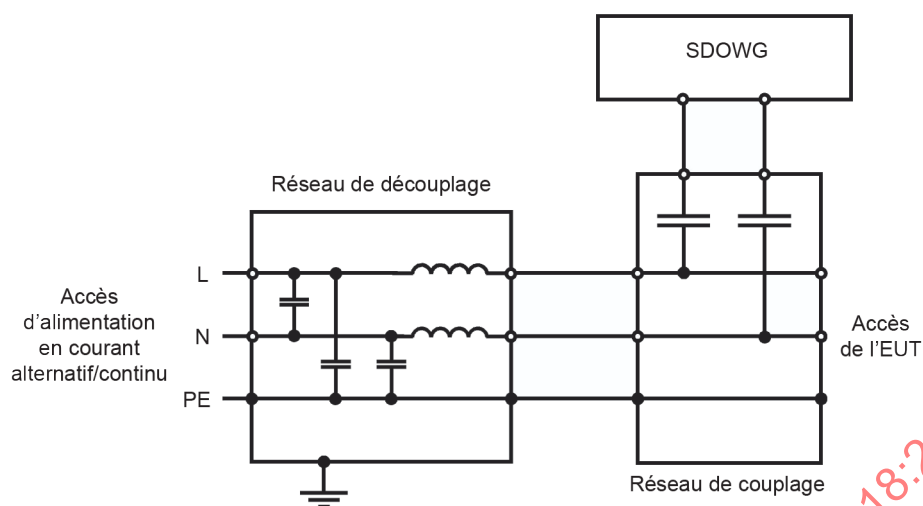


Figure 9 – Exemple de CDN pour couplage capacitif sur des lignes à courant continu/alternatif: couplage ligne à ligne

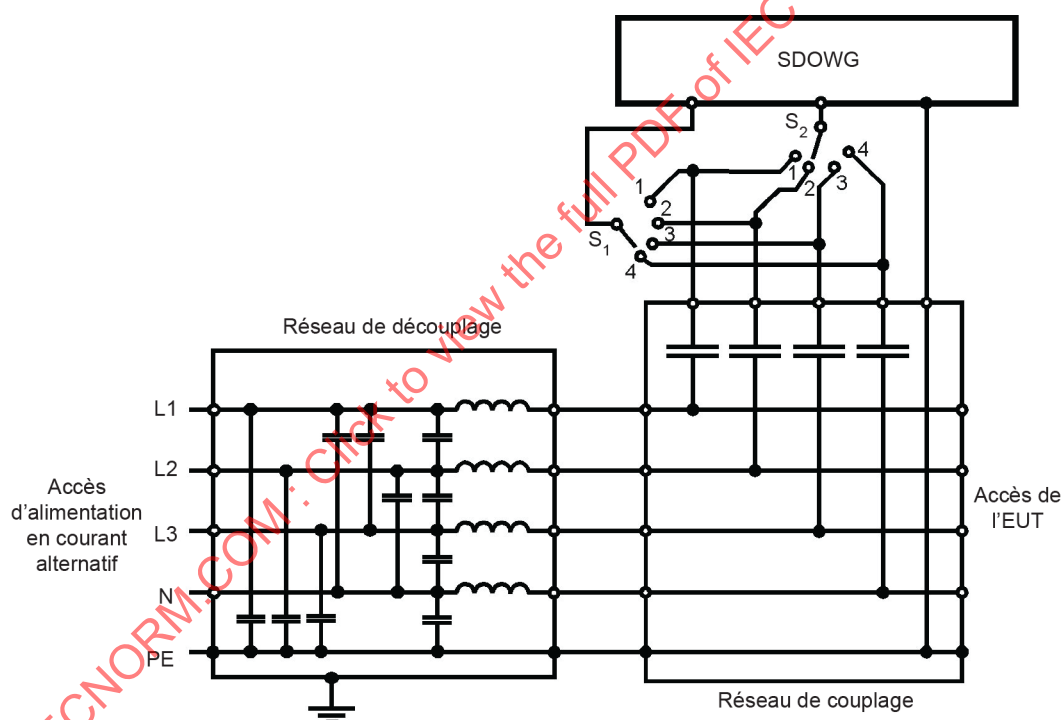


Figure 10 – Exemple de CDN pour couplage capacitif sur des lignes à courant alternatif (trois phases): couplage entre la ligne L2 et la ligne N

6.3.2.3 Réseaux de couplage/découplage pour les lignes d'interconnexion

6.3.2.3.1 Généralités

La méthode de couplage doit être choisie sur la base des types ou de la fonction des câbles d'interconnexion, des circuits et des conditions de fonctionnement traités dans la spécification de produit. La Figure 11 représente un CDN type utilisé pour les lignes d'interconnexion.

Le couplage des lignes non blindées exige des condensateurs de couplage de $0,5 \mu\text{F}$ qui garantissent une isolation suffisante entre les lignes d'interconnexion et le générateur oscillatoire amorti, tout en permettant un transfert efficace de l'onde oscillatoire amortie.

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.

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'AE dépend de la spécification d'application et détermine la valeur des éléments de découplage (inductances, résistances, condensateurs, tubes à décharge (GDT), dispositifs de clamping, etc.) à utiliser. Afin d'assurer la meilleure performance de découplage et la meilleure protection de l'AE possible, une analyse spécifique de cas est exigée pour choisir les éléments de découplage.

La valeur minimale de l'affaiblissement de découplage peut ne pas être suffisante pour protéger les sources auxiliaires de signal, et des dispositifs de protection supplémentaires peuvent être exigés.

Le réseau peut être composé d'unités distinctes, afin de permettre l'essai des accès d'entrée/sortie de circuit simples ou de groupes de circuits (par exemple, plusieurs fils avec un fil commun).

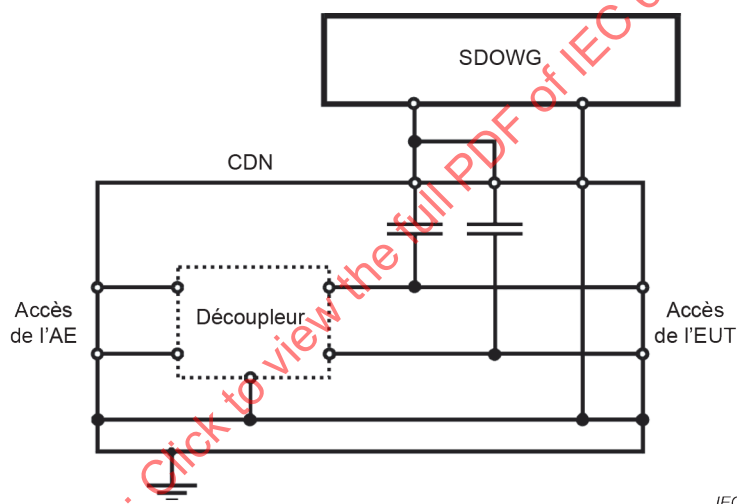


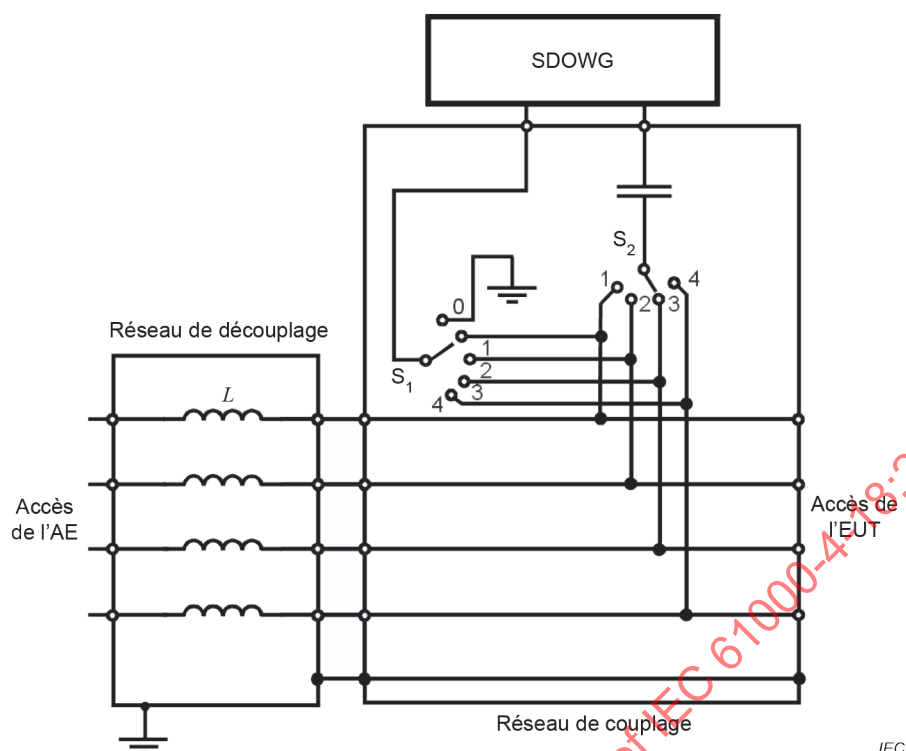
Figure 11 – Exemple de CDN pour les lignes d'interconnexion: couplage ligne à terre

La section de découplage du CDN est composée généralement d'inductances supérieures à 1,5 mH.

6.3.2.3.2 Réseaux de couplage/découplage pour les lignes d'interconnexion non blindées et non symétriques

Le couplage à des lignes d'interconnexion non blindées et non symétriques comprend à la fois le couplage ligne à ligne et le couplage ligne à terre. Le découplage est réalisé au moyen d'une bobine d'inductance de découplage par ligne.

La Figure 12 représente un exemple de CDN pour les lignes d'interconnexion non blindées et non symétriques.



- 1) Commutateur S_1
 - entre ligne et terre: position 0
 - ligne à ligne: 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

Figure 12 – Exemple de CDN pour les lignes d'interconnexion non blindées et non symétriques: couplage ligne à ligne et ligne à terre

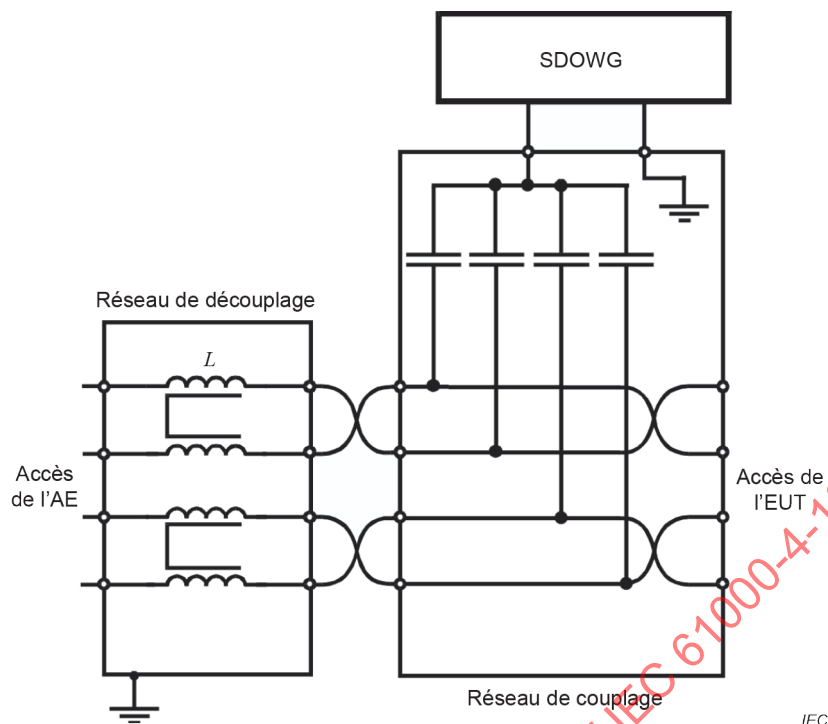
Le couplage à des lignes d'interconnexion non blindées et non symétriques exige des condensateurs de $0,5 \mu\text{F}$. La section de découplage du CDN est composée généralement d'inductances supérieures à $1,5 \text{ mH}$.

6.3.2.3.3 Réseaux de couplage/découplage pour les lignes d'interconnexion non blindées symétriques

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

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 13 représente un exemple de réseau de couplage/découplage pour les lignes d'interconnexion non blindées symétriques.



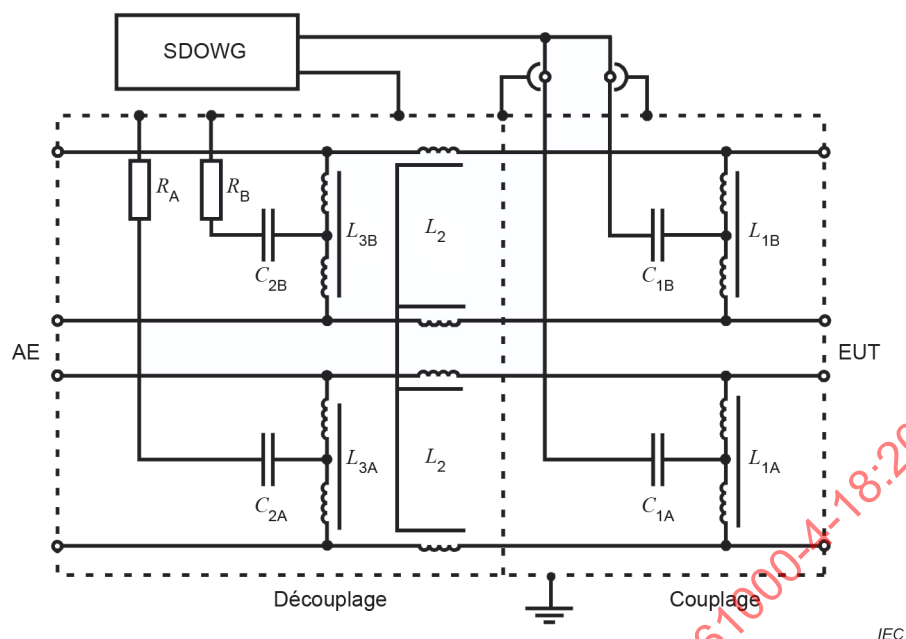
NOTE L avec compensation de courant peut comprendre pour être efficace les quatre bobines ou seulement des paires comme représenté à la Figure 13.

Figure 13 – Exemple de CDN pour les lignes d'interconnexion non blindées symétriques: couplage ligne à terre

Pour des lignes d'interconnexion non blindées symétriques, les exemples donnés à la Figure 13 et à la Figure 14 peuvent être utilisés. La valeur du condensateur de couplage à la Figure 13 doit être de 0,5 μF .

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 exigée.

La Figure 14 représente 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.



R_A , R_B , C_1 , C_2 , L_1 , L_2 , L_3 : Tous les composants sont choisis de façon à satisfaire aux paramètres d'impulsion spécifiés.

Figure 14 – Exemple de CDN pour les lignes d'interconnexion non blindées symétriques: couplage ligne à terre par condensateurs

6.3.3 Réseaux de couplage/découplage pour ondes oscillatoires amorties rapides

6.3.3.1 Sélection de CDN pour ondes oscillatoires amorties rapides

Différents types de CDN mentionnés en 6.3.2 sont utilisés en combinaison avec le FDOWNG pour l'application d'ondes oscillatoires amorties rapides. Les méthodes suivantes s'appliquent:

- pour les accès d'alimentation en courant alternatif/continu, les exemples représentés à la Figure 15 et à la Figure 16 sont utilisés;
- pour les lignes d'interconnexion, l'exemple représenté à la Figure 17 est utilisé.

NOTE Les dispositions de 8.3 spécifient des informations détaillées lorsque l'utilisation d'un CDN n'est pas appropriée.

6.3.3.2 Réseaux de couplage/découplage destinés aux accès d'alimentation en courant continu/alternatif jusqu'à 32 A inclus pour les ondes oscillatoires amorties rapides

Pour les lignes d'alimentation en courant continu ou alternatif, le réseau de découplage fournit une impédance relativement élevée à la forme d'onde oscillatoire amortie rapide, et permet simultanément l'écoulement du courant vers l'EUT. Cette impédance permet de développer la forme d'onde de tension à la sortie du CDN. Les condensateurs haute tension sont utilisés pour les éléments de couplage et assignés pour permettre le couplage de la durée de forme d'onde complète à l'EUT.

NOTE Actuellement, tous les équipements concernés par le présent document ont des courants assignés pouvant atteindre 32 A. Par conséquent, les CDN dont les courants assignés sont supérieurs à 32 A n'ont pas été pris en compte.

L'inductance de découplage doit être sélectionnée par le fabricant de CDN de sorte que la chute de tension au niveau du CDN ne doit pas dépasser 10 % de la tension d'entrée du réseau au courant assigné spécifié. Il convient toutefois que la chute de tension ne dépasse pas 1,5 mV.

Des exemples de CDN pour des accès d'alimentation en courant continu/alternatif sont représentés à la Figure 15 et à la Figure 16.

Lorsque l'EUT est déconnecté, la tension oscillatoire amortie résiduelle (de Pk_1 à Pk_{10}) sur les entrées d'alimentation du réseau de découplage ne doit pas dépasser 15 % de la tension d'essai appliquée ou deux fois la valeur de crête de la tension assignée du réseau de couplage/découplage, selon la plus grande des deux valeurs.

Les caractéristiques susmentionnées s'appliquent aux réseaux monophasés (phase, neutre, terre de protection) et pour les réseaux triphasés (trois phases, neutre et terre de protection).

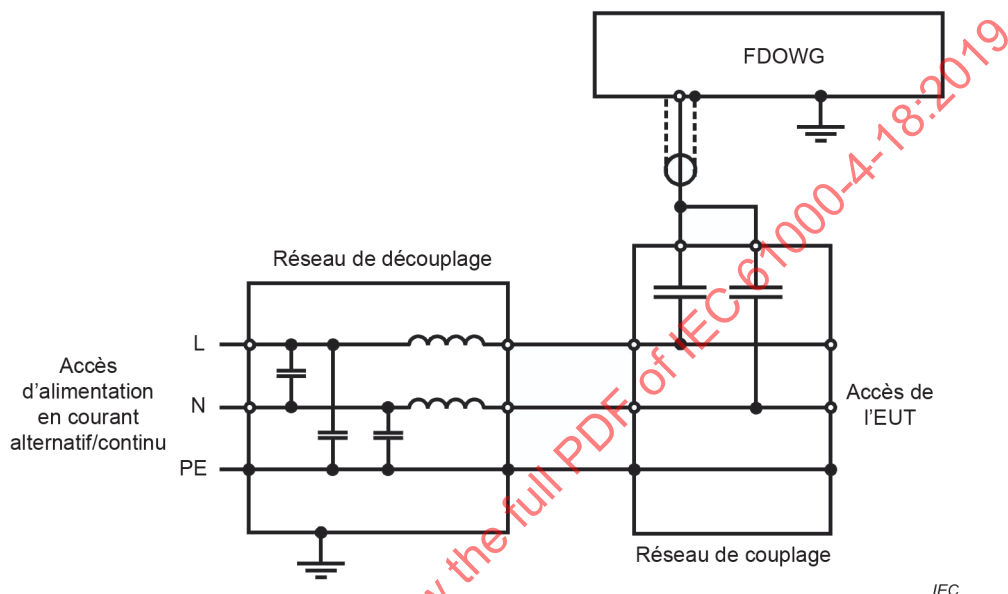


Figure 15 – Exemple de CDN pour alimentation monophasée en courant alternatif/continu: couplage ligne à terre

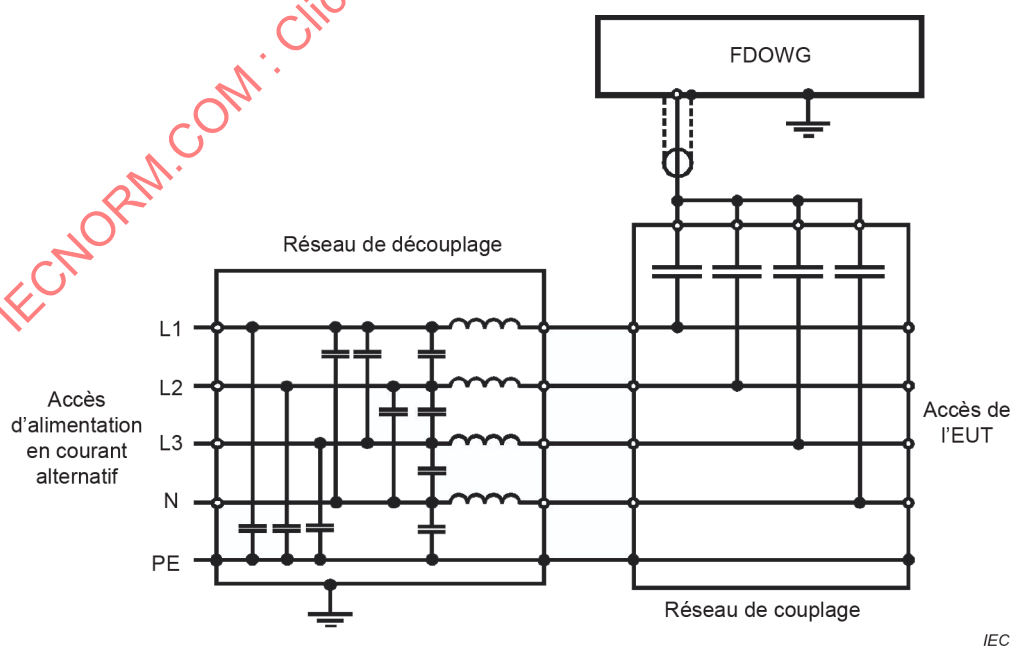


Figure 16 – Exemple de CDN pour alimentation triphasée en courant alternatif: couplage ligne à terre

6.3.3.3 Réseaux de couplage/découplage destinés aux lignes d'interconnexion pour ondes oscillatoires amorties rapides

La méthode de couplage doit être choisie sur la base des types ou de la fonction des câbles d'interconnexion, des circuits et des conditions de fonctionnement traités dans la spécification de produit. La Figure 17 représente un CDN type utilisé pour les lignes d'interconnexion.

Le couplage des lignes non blindées exige des condensateurs de couplage de 33 nF qui garantissent une isolation suffisante entre les lignes d'interconnexion et le générateur oscillatoire amorti, tout en permettant un transfert efficace de l'onde oscillatoire amortie.

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.

La tension de claquage du condensateur de couplage doit être sélectionnée de manière à être la plus basse possible, mais supérieure à la tension maximale de service des lignes à soumettre à l'essai.

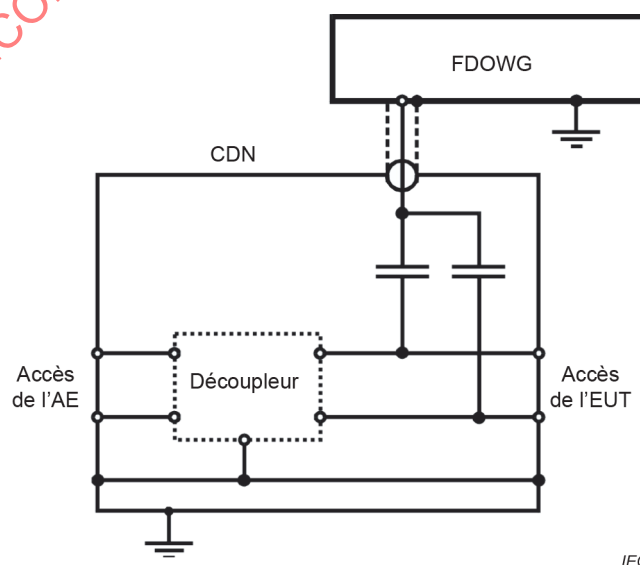
Tous les CDN doivent satisfaire aux exigences d'étalonnage spécifiées en 6.4.

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'AE 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 d'assurer la meilleure performance de découplage et la meilleure protection de l'AE possible, une analyse spécifique de cas est exigée pour choisir les éléments de découplage.

La valeur minimale de l'affaiblissement de découplage peut ne pas être suffisante pour protéger les sources auxiliaires de signal, et des dispositifs de protection supplémentaires peuvent être exigés.

Le réseau peut être composé d'unités distinctes, afin de permettre l'essai des accès d'entrée/sortie de circuit simples ou de groupes de circuits (par exemple, plusieurs fils avec un fil commun).



IEC

Figure 17 – Exemple de CDN destiné aux lignes d'interconnexion pour ondes oscillatoires amorties rapides: couplage ligne à terre

La section de découplage du CDN est composée d'inductances $> 100 \mu\text{H}$ (pour l'essai à l'onde oscillatoire amortie rapide).

6.4 Étalonnage des réseaux de couplage/découplage

6.4.1 Généralités

Afin de comparer les résultats des essais de différents CDN, le CDN doit être étalonné régulièrement. L'Annexe B traite à cet effet des incertitudes de mesure. À cette fin, la procédure suivante est nécessaire pour mesurer les caractéristiques les plus essentielles du CDN. Les paramètres de la forme d'onde mesurés à l'accès de l'EUT du CDN dépendent de la source du générateur et peuvent par conséquent être différents avec des générateurs également différents.

L'équipement de mesure utilisé pour l'étalonnage du CDN doit satisfaire aux mêmes exigences applicables à l'étalonnage du générateur (voir 6.2.1.3 ou 6.2.2.3 respectivement).

Les étalonnages doivent être effectués aux niveaux d'essai appliqués à l'EUT ou aux niveaux d'essai minimal et maximal.

La tension en circuit ouvert U_{Pk1} , le temps de montée et la décroissance doivent être mesurés dans des conditions de tension en circuit ouvert. Dans des conditions de court-circuit, le courant I_{Pk1} doit être mesuré.

La tension oscillatoire amortie résiduelle mesurée entre les lignes appliquées et la terre sur l'accès d'alimentation d'entrée en courant alternatif/continu du réseau de découplage, l'EUT et l'alimentation secteur n'étant pas connectés, ne doit pas dépasser 15 % de la tension d'essai maximale appliquée ou deux fois la tension de crête assignée du CDN, selon la valeur la plus élevée. La tension oscillatoire amortie indésirable mesurée entre les lignes non appliquées et la terre au niveau de l'accès de l'EUT, ce dernier et l'alimentation secteur n'étant pas connectés, ne doit pas dépasser 15 % de la tension d'essai maximale appliquée (circuit ouvert).

La tension oscillatoire amortie résiduelle mesurée entre les lignes appliquées et la terre du côté de l'AE du CDN pour les lignes d'interconnexion, l'EUT et l'AE étant déconnectés, doit être mesurée et enregistrée de sorte que les utilisateurs du CDN puissent déterminer si la protection est suffisante pour une utilisation avec un AE particulier.

NOTE Aucune limite n'est actuellement définie pour la tension résiduelle applicable au CDN des lignes d'interconnexion.

6.4.2 Étalonnage de CDN pour ondes oscillatoires amorties lentes

Les étalonnages doivent être effectués accès par accès avec un circuit ouvert et en court-circuit pour la valeur Pk_1 au niveau de l'accès de l'EUT du CDN. Les deux polarités (positive et négative) doivent être étalonnées.

Les exigences indiquées en 6.4.1 et les caractéristiques présentées dans le Tableau 4 doivent être satisfaites à la sortie du CDN, l'accès d'alimentation en courant alternatif/continu et l'accès de l'AE étant déconnectés.

Tableau 4 – Spécifications de la forme d'onde oscillatoire amortie au niveau de l'accès de l'EUT des CDN pour ondes oscillatoires amorties lentes

Sélection du CDN	Fréquences d'oscillation de la tension ± 10 %	SDOWG Tension de sortie	U_{Pk1} au niveau de l'accès de l'EUT du CDN ± 10 %	Temps de montée de la tension T_1 ± 20 %	Décroissance de la tension U_{Pk5}	Décroissance de la tension U_{Pk10}	I_{Pk1} au niveau de l'accès de l'EUT du CDN ± 20 %
CDN (Figure 7, Figure 8) Mode commun (ligne à terre)	100 kHz	0,5 kV	0,5 kV	75 ns	> 50 % de U_{Pk1}	< 50 % de U_{Pk1}	2,5 A
	1 MHz	1,0 kV	1,0 kV				5 A
		2,0 kV ^a	2,0 kV ^a				10 A ^a
CDN (Figure 9, Figure 10) Mode différentiel (ligne à ligne)	100 kHz	0,25 kV	0,25 kV	75 ns	> 50 % de U_{Pk1}	< 50 % de U_{Pk1}	1,25 A
	1 MHz	0,5 kV	0,5 kV				2,5 A
		1,0 kV	1,0 kV				5 A
CDN (Figure 11) Mode commun (ligne à terre)	100 kHz	0,5 kV	0,5 kV	75 ns	> 50 % de U_{Pk1}	< 50 % de U_{Pk1}	2,5 A
	1 MHz	1,0 kV	1,0 kV				5 A
		2,0 kV ^a	2,0 kV ^a				10 A ^a
CDN (Figure 12) Mode différentiel (ligne à ligne)	100 kHz	0,25 kV	0,25 kV	75 ns	> 50 % de U_{Pk1}	< 50 % de U_{Pk1}	1,25 A
	1 MHz	0,5 kV	0,5 kV				2,5 A
		1,0 kV	1,0 kV				5 A
CDN (Figure 13, Figure 14) Mode commun (ligne à terre)	100 kHz	0,5 kV	0,5 kV	75 ns	> 50 % de U_{Pk1}	< 50 % de U_{Pk1}	2,5 A
	1 MHz	1,0 kV	1,0 kV				5 A
		2,0 kV ^a	2,0 kV ^a				10 A ^a

Les formes d'onde au niveau des accès de sortie du CDN doivent satisfaire aux mêmes tolérances qu'au niveau de l'accès de sortie du générateur.

^a La valeur est portée à 2,5 kV / 12,5 A pour les équipements implantés dans les postes.

6.4.3 Étalonnage de CDN pour ondes oscillatoires amorties rapides

L'étalonnage doit être effectué pour un couplage en mode commun, ce qui signifie le couplage simultané des ondes oscillatoires amorties à toutes les lignes.

Les étalonnages doivent être effectués accès par accès en court-circuit pour la valeur P_{k1} au niveau de l'accès de l'EUT du CDN. Les deux polarités (positive et négative) doivent être étalonnées.

L'étalonnage des CDN avec accès d'alimentation en courant alternatif/continu est effectué avec la sortie du générateur située aux niveaux d'essai appliqués à l'EUT. Le générateur est connecté à l'entrée du CDN. Chaque sortie individuelle du CDN (L1, L2, L3 et N normalement connectées à l'EUT) est reliée au RGP par le shunt de 0,1 Ω , les autres accès étant ouverts. Le courant de crête et la forme d'onde sont enregistrés pour chaque polarité. La Figure 18 représente l'un des quatre mesurages d'étalonnage, à savoir l'étalonnage de L1 vers le RGP.

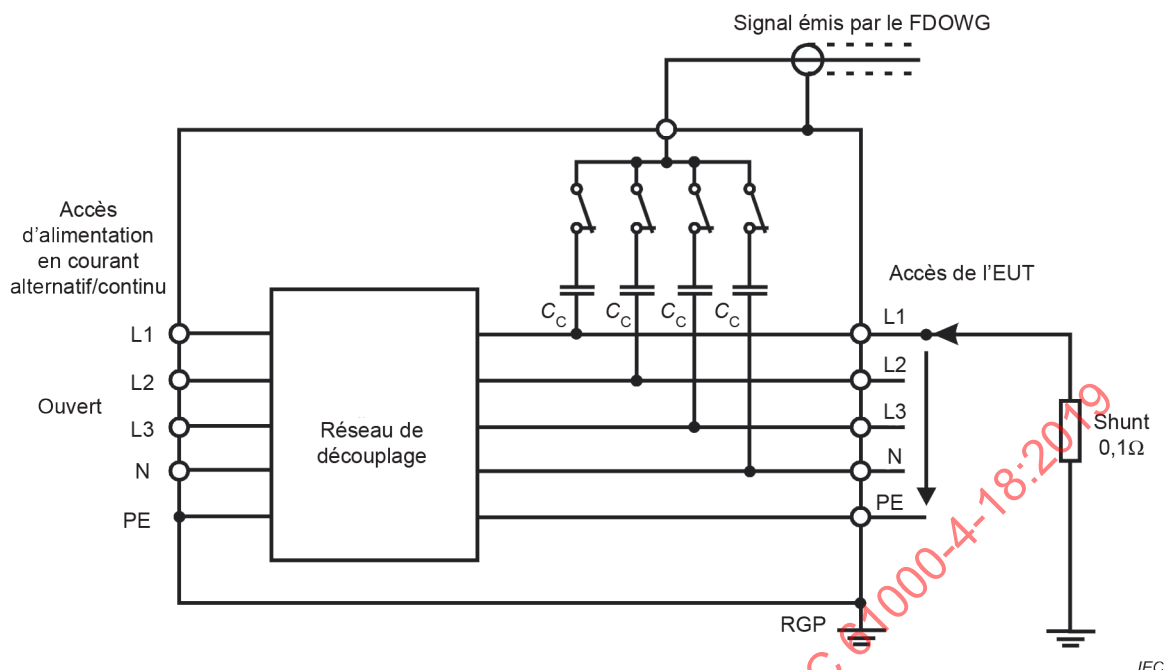


Figure 18 – Exemple de montage d'étalonnage de CDN dédiés aux accès d'alimentation en courant alternatif/continu pour les ondes oscillatoires amorties rapides

Pour les CDN des lignes d'interconnexion, les spécifications indiquées dans le Tableau 5 doivent faire l'objet d'un étalonnage individuel pour chaque ligne de couplage au niveau de chaque borne d'accès de l'EUT (SC1, SC2) du CDN avec un shunt unique de $0,1 \Omega \pm 2 \%$ relié au RGP. La Figure 19 représente l'un des deux mesurages d'étalonnage, à savoir l'étalonnage de SC1 vers le RGP.

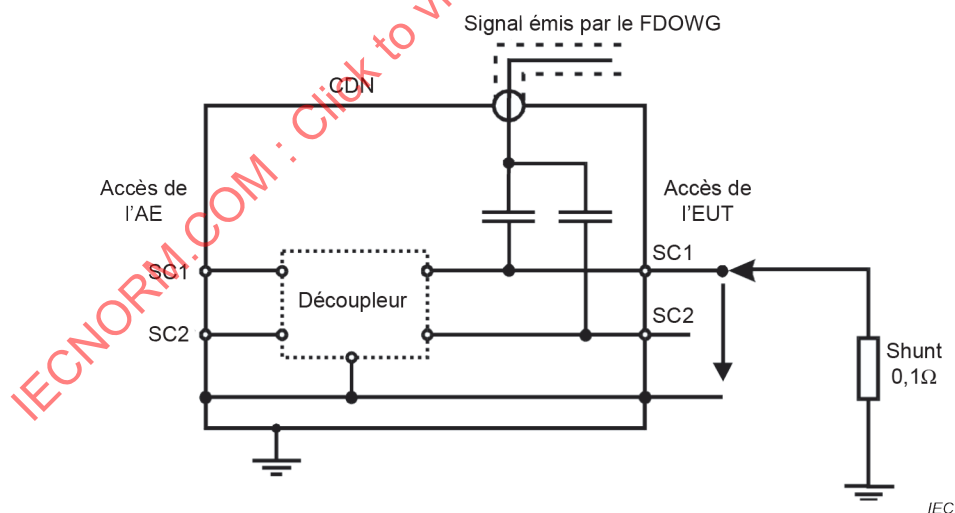


Figure 19 – Exemple de montage d'étalonnage de CDN dédiés aux lignes d'interconnexion pour les ondes oscillatoires amorties rapides

NOTE 1 Chaque ligne de couplage fait l'objet d'une vérification séparément afin de vérifier qu'elle fonctionne correctement et qu'elle est étalonnée.

NOTE 2 On veille à utiliser des adaptateurs coaxiaux pour réaliser l'interface avec la sortie du CDN.

Il convient que la connexion entre la sortie du CDN et l'adaptateur coaxial soit aussi courte que possible, ne dépassant pas 0,1 m.

Les exigences indiquées en 6.4.1 et les caractéristiques présentées dans le Tableau 5 doivent être satisfaites à la sortie du CDN, l'accès d'alimentation en courant alternatif/continu et l'accès de l'AE étant déconnectés.

Tableau 5 – Spécifications de la forme d'onde oscillatoire amortie au niveau de l'accès de l'EUT des CDN pour ondes oscillatoires amorties rapides

Sélection du CDN	FDOWG Tension de sortie	I_{Pk1} au niveau de l'accès de l'EUT du CDN $\pm 20 \%$	Fréquences d'oscillation du courant $\pm 30 \%$	Temps de montée du courant T_1	Décroissance du courant I_{Pk5}	Décroissance du courant I_{Pk10}
CDN (Figure 18, Figure 19) Mode commun (ligne à terre)	0,5 kV	10 A	3 MHz	< 330 ns	> 25 % de I_{Pk1}	< 25 % de I_{Pk1}
	1,0 kV	20 A	10 MHz	< 100 ns		
	2,0 kV	40 A	30 MHz	< 33 ns		
	4,0 kV	80 A				

6.5 Pince de couplage capacitive pour ondes oscillatoires amorties rapides

6.5.1 Caractéristiques de la pince de couplage capacitive

La pince offre la possibilité de coupler les ondes oscillatoires amorties rapides au circuit en essai sans aucune liaison galvanique avec les bornes des accès de l'EUT, les blindages des câbles ou toute autre partie de l'EUT.

La capacité de couplage de la pince dépend du diamètre et du matériau des câbles, ainsi que de leur blindage (le cas échéant).

Le dispositif est composé d'une pince (en acier galvanisé, en laiton, en cuivre ou en aluminium, par exemple) permettant de loger les câbles (plats ou ronds) des circuits en essai et doit être placé sur un RGP. Le RGP doit dépasser de la pince d'au moins 0,1 m sur tous les côtés.

La pince doit être équipée aux deux extrémités d'un connecteur coaxial haute tension pour le raccordement au générateur d'essai à l'une ou l'autre extrémité. Le générateur doit être connecté à l'extrémité de la pince la plus proche de l'EUT.

NOTE Lorsque la pince de couplage comporte un seul connecteur coaxial HT, il est installé de manière à ce que ce connecteur soit le plus proche possible de l'EUT.

La pince doit être fermée au maximum afin d'obtenir une capacité de couplage maximale entre le câble et la pince.

La Figure 20 représente un exemple de disposition mécanique de la pince de couplage. Les dimensions suivantes doivent être utilisées:

- hauteur de la plaque de couplage inférieure: (100 ± 5) mm
- largeur de la plaque de couplage inférieure: (140 ± 7) mm
- longueur de la plaque de couplage inférieure: $(1\,000 \pm 50)$ mm

NOTE Les extensions de la plaque de couplage inférieure permettant la fixation (vis) pour maintenir la plaque de couplage supérieure rabattue ne font pas partie de la zone indiquée par les dimensions spécifiées dans la liste ci-dessus et représentées à la Figure 20.

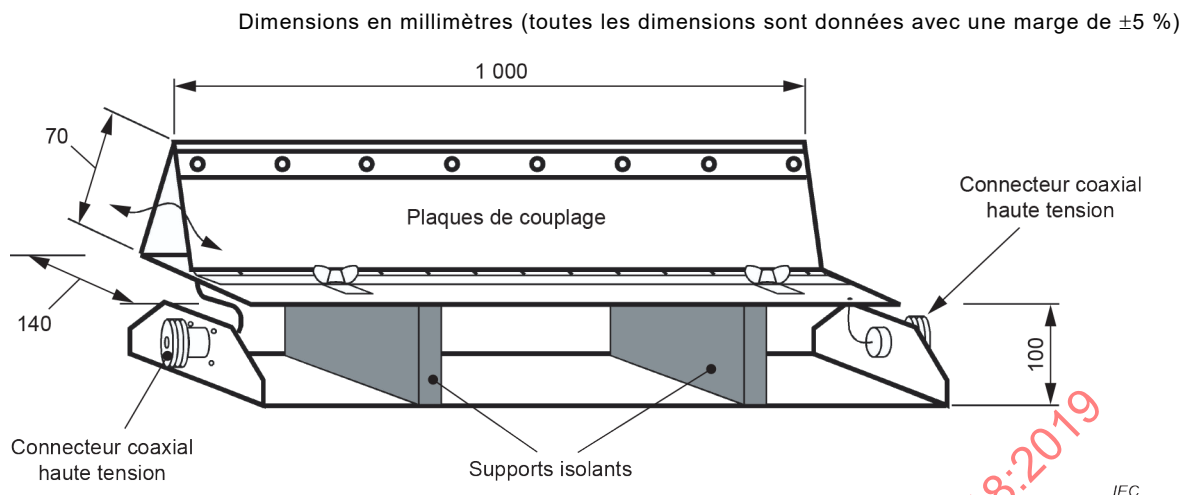


Figure 20 – Exemple de pince de couplage capacitive

6.5.2 Étalonnage de la pince de couplage capacitive

L'appareillage de mesure spécifié comme étant approprié pour effectuer les étalonnages définis en 6.2.2.3 doit également être utilisé pour l'étalonnage des caractéristiques de la pince de couplage capacitive

Une plaque transducteur (voir Figure 21) doit être insérée dans la pince de couplage et un adaptateur de connexion, avec une liaison à la terre de faible inductance, doit être utilisé pour le raccordement d'un dispositif de terminaison/affaiblisseur de mesure. Un montage est représenté à la Figure 22.

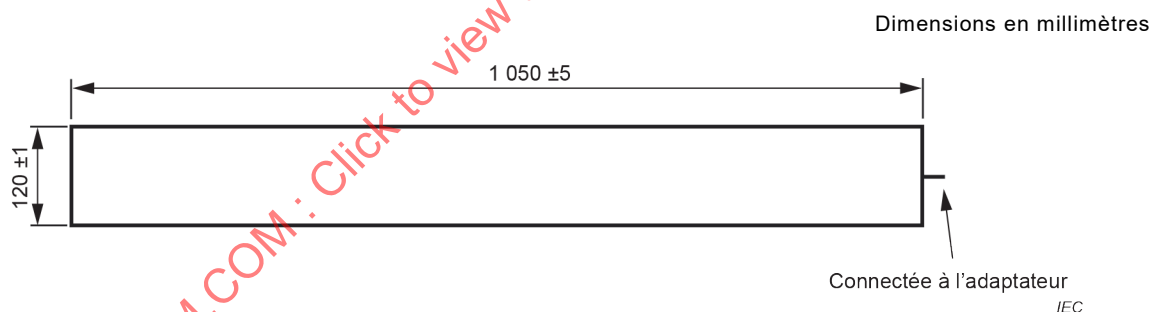


Figure 21 – Plaque transducteur pour l'étalonnage de la pince de couplage

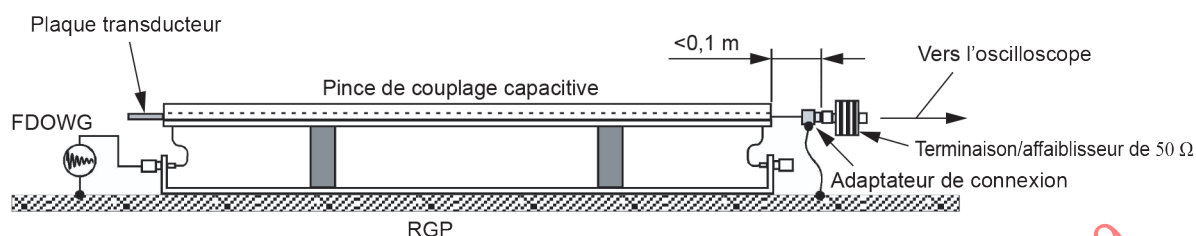
La plaque transducteur doit se composer d'une feuille métallique de 120 mm $\times$ 1 050 mm d'épaisseur maximale de 0,5 mm, isolée dessus et dessous par une feuille diélectrique de 0,5 mm. Un isolement d'au moins 2,5 kV de tous côtés doit être assuré, afin d'éviter que la pince entre en contact avec la plaque transducteur. Elle est reliée à une extrémité à l'adaptateur de connexion, par une liaison à faible impédance d'une longueur maximale de 30 mm. La plaque transducteur doit être placée dans la pince de couplage capacitive de manière à ce que l'extrémité munie de la connexion soit alignée sur l'extrémité de la plaque de couplage inférieure. L'adaptateur de connexion doit admettre une liaison à faible impédance au RGP pour la mise à la terre du dispositif de terminaison/affaiblisseur de mesure coaxial de 50 Ω . La distance entre la plaque transducteur et le dispositif de terminaison/affaiblisseur de mesure de 50 Ω ne doit pas dépasser 0,1 m.

NOTE Le jeu entre la plaque de couplage supérieure et la plaque transducteur n'est pas important.

Les spécifications indiquées ci-dessous doivent faire l'objet d'un étalonnage avec une terminaison de 50 Ω unique.

La pince doit être étalonnée avec un générateur dont la conformité aux exigences de 6.2.2.3 est avérée.

L'étalonnage est effectué avec une tension de sortie du FDOWG réglée à 2 kV.



IEC

Figure 22 – Étalonnage d'une pince de couplage capacitive en utilisant la plaque transducteur

Le FDOWG est connecté à l'entrée de la pince de couplage.

La tension de crête et les paramètres de forme d'onde sont enregistrés à la sortie de la plaque transducteur située à l'extrémité opposée de la pince.

Les caractéristiques de forme d'onde doivent satisfaire aux exigences suivantes:

- tension de crête ($1\,000 \pm 200$) V
- fréquences d'oscillation ($3 \pm 0,6$) MHz, (10 ± 2) MHz, (30 ± 6) MHz.

7 Montage d'essai

7.1 Matériel d'essai

Le montage d'essai comporte l'équipement suivant:

- connexions de mise à la terre;
- RGP (exigé pour les essais de l'onde oscillatoire amortie rapide et facultatif pour les essais de l'onde oscillatoire amortie lente);
- EUT;
- SDOWG ou FDOWG;
- CDN;
- pince de couplage capacitive (pour les essais de l'onde oscillatoire amortie rapide);
- AE.

La tension d'essai doit être appliquée par le CDN, sous réserve que ce réseau soit compatible avec le signal de fonctionnement des accès de l'EUT.

7.2 Vérification de l'instrumentation d'essai

Le but de la vérification est de vérifier que le montage d'essai fonctionne correctement. Le montage d'essai comprend:

- le générateur d'ondes oscillatoires amorties (SDOWG ou FDOWG);
- le CDN;
- la pince de couplage capacitive (pour les essais de l'onde oscillatoire amortie rapide);
- les câbles d'interconnexion;
- l'instrumentation de mesure.

Pour vérifier que le système fonctionne correctement, il convient de contrôler les signaux suivants:

- l'onde oscillatoire amortie présente à la sortie du CDN:
- l'onde oscillatoire amortie rapide présente sur la pince de couplage capacitive.

Il est suffisant de vérifier que l'onde oscillatoire amortie (voir Figure 1) est présente à n'importe quel niveau en utilisant un appareillage de mesure approprié (par exemple, oscilloscope) sans qu'un EUT soit connecté au système.

Les laboratoires d'essai peuvent définir une valeur de référence de contrôle interne affectée à cette procédure de vérification.

Un exemple de montage de vérification de la pince de couplage capacitive est représenté à la Figure 23. Une procédure analogue peut être appliquée pour vérifier la présence de l'onde oscillatoire amortie au niveau de l'accès de l'EUT d'un CDN.

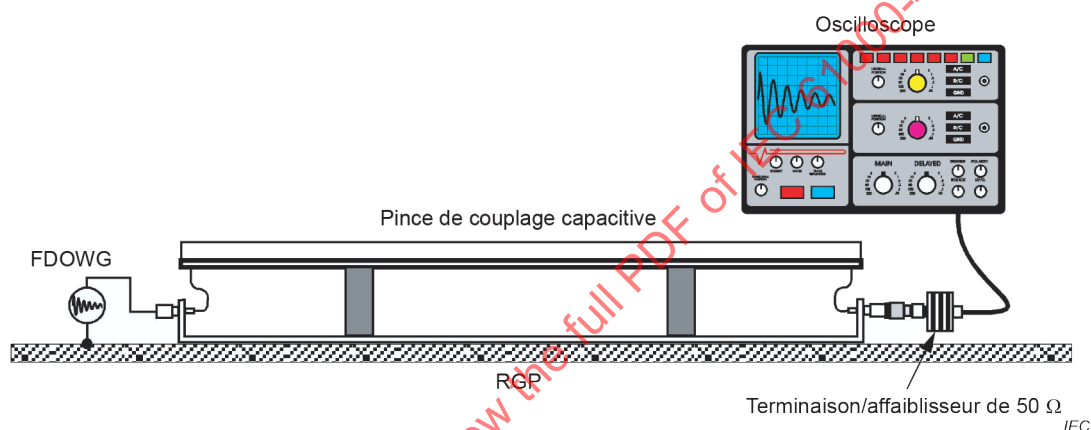


Figure 23 – Exemple de montage de vérification de la pince de couplage capacitive

7.3 Montage d'essai

7.3.1 Généralités

Les EUT posés au sol et les matériels conçus pour être montés dans d'autres configurations doivent être, sauf indication contraire, isolés du sol par un support isolant d'une épaisseur de $(0,1 \pm 0,05)$ m, incluant les roulettes/roulettes pivotantes non conductrices (voir Figure 24).

Le matériel de table et le matériel normalement monté au plafond ou sur les murs, ainsi que le matériel encastré peuvent être soumis à l'essai sur une table. Aucune exigence ne doit s'appliquer concernant la hauteur de la table. Lorsqu'un RGP est utilisé, l'EUT doit être situé à $(0,1 \pm 0,01)$ m au-dessus de lui.

NOTE 1 Les essais sur les matériels de table de grandes dimensions ou sur les systèmes multiples peuvent être réalisés au sol en conservant les mêmes distances que pour le montage d'essai des matériels de table.

Le générateur d'essai et le réseau de couplage/découplage doivent être reliés à la terre.

Lors des essais, les exigences du fabricant de l'EUT et du matériel d'essai en matière de mise à la terre de sécurité doivent être respectées.

Lors de la mise en place de la configuration d'essai, le générateur d'essai, le réseau de couplage/découplage, l'EUT et l'équipement auxiliaire peuvent être mis à la terre au moyen d'un RGP ou de connexions de mise à la terre appropriées.