

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC EMC PUBLICATION
PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

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

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-4: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux transitoires
électriques rapides en salves**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2012 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

Useful links:

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

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

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

Liens utiles:

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

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

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

Just Published CEI - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

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

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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



IEC 61000-4-4

Edition 3.0 2012-04

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC EMC PUBLICATION
PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

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

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-4: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux transitoires
électriques rapides en salves**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX



ICS 33.100.20

ISBN 978-2-83220-016-2

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

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms, definitions and abbreviations	7
3.1 Terms and definitions	7
3.2 Abbreviations	10
4 General	10
5 Test levels.....	10
6 Test equipment.....	11
6.1 Overview	11
6.2 Burst generator	11
6.2.1 General	11
6.2.2 Characteristics of the fast transient/burst generator.....	12
6.2.3 Calibration of the characteristics of the fast transient/burst generator	14
6.3 Coupling/decoupling network for a.c./d.c. power port.....	15
6.3.1 Characteristics of the coupling/decoupling network.....	15
6.3.2 Calibration of the coupling/decoupling network	16
6.4 Capacitive coupling clamp	17
6.4.1 General	17
6.4.2 Calibration of the capacitive coupling clamp	18
7 Test setup	20
7.1 General.....	20
7.2 Test equipment	20
7.2.1 General	20
7.2.2 Verification of the test instrumentation.....	20
7.3 Test setup for type tests performed in laboratories	21
7.3.1 Test conditions	21
7.3.2 Methods of coupling the test voltage to the EUT	24
7.4 Test setup for in situ tests	26
7.4.1 Overview	26
7.4.2 Test on power ports and earth ports	26
7.4.3 Test on signal and control ports.....	27
8 Test procedure	28
8.1 General.....	28
8.2 Laboratory reference conditions	28
8.2.1 Climatic conditions	28
8.2.2 Electromagnetic conditions.....	28
8.3 Execution of the test.....	28
9 Evaluation of test results	29
10 Test report.....	29
Annex A (informative) Information on the electrical fast transients.....	30
Annex B (informative) Selection of the test levels.....	32
Annex C (informative) Measurement uncertainty (MU) considerations	34
Bibliography.....	43

Figure 1 – Simplified circuit diagram showing major elements of a fast transient/burst generator	12
Figure 2 – Representation of an electrical fast transient/burst	13
Figure 3 – Ideal waveform of a single pulse into a 50 Ω load with nominal parameters $t_r = 5$ ns and $t_w = 50$ ns	13
Figure 4 – Coupling/decoupling network for a.c./d.c. power mains supply ports/terminals	16
Figure 5 – Calibration of the waveform at the output of the coupling/decoupling network	17
Figure 6 – Example of a capacitive coupling clamp	18
Figure 7 – Transducer plate for coupling clamp calibration	19
Figure 8 – Calibration of a capacitive coupling clamp using the transducer plate	19
Figure 9 – Block diagram for electrical fast transient/burst immunity test	20
Figure 10 – Example of a verification setup of the capacitive coupling clamp	21
Figure 11 – Example of a test setup for laboratory type tests	22
Figure 12 – Example of test setup using a floor standing system of two EUTs	23
Figure 13 – Example of a test setup for equipment with elevated cable entries	24
Figure 14 – Example of a test setup for direct coupling of the test voltage to a.c./d.c. power ports for laboratory type tests	25
Figure 15 – Example for in situ test on a.c./d.c. power ports and protective earth terminals for stationary, floor standing EUT	26
Figure 16 – Example of in situ test on signal and control ports without the capacitive coupling clamp	27
Table 1 – Test levels	11
Table 2 – Output voltage peak values and repetition frequencies	15
Table C.1 – Example of uncertainty budget for voltage rise time (t_r)	36
Table C.2 – Example of uncertainty budget for EFT/B peak voltage value (V_P)	37
Table C.3 – Example of uncertainty budget for EFT/B voltage pulse width (t_w)	38
Table C.4 – α factor (Equation (C.4)) of different unidirectional impulse responses corresponding to the same bandwidth of the system B	40

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 4-4: Testing and measurement techniques –
Electrical fast transient/burst 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 61000-4-4 has been prepared by subcommittee 77B: High frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

It forms Part 4-4 of IEC 61000. It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107, *Electromagnetic compatibility – Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications*.

This third edition cancels and replaces the second edition published in 2004 and its amendment 1 (2010) and constitutes a technical revision.

This third edition improves and clarifies simulator specifications, test criteria and test setups.

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

FDIS	Report on voting
77B/670/FDIS	77B/673/RVD

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

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

The list of all currently available parts of the IEC 61000 series, under the general title *Electromagnetic compatibility (EMC)*, can be found on the IEC web site.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

INTRODUCTION

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

Part 1: General

General considerations (introduction, fundamental principles)

Definitions, terminology

Part 2: Environment

Description of the environment

Classification of the environment

Compatibility levels

Part 3: Limits

Emission limits

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

Part 4: Testing and measurement techniques

Measurement techniques

Testing techniques

Part 5: Installation and mitigation guidelines

Installation guidelines

Mitigation methods and devices

Part 6: Generic standards

Part 9: Miscellaneous

Each part is further subdivided into several parts, published either as international standards or as technical specifications or technical reports, some of which have already been published as sections. Others are 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 electrical fast transients/bursts.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test

1 Scope

This part of IEC 61000 relates to the immunity of electrical and electronic equipment to repetitive electrical fast transients. It gives immunity requirements and test procedures related to electrical fast transients/bursts. It additionally defines ranges of test levels and establishes test procedures.

The object of this standard is to establish a common and reproducible reference in order to evaluate the immunity of electrical and electronic equipment when subjected to electrical fast transient/bursts 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 standard defines:

- test voltage waveform;
- range of test levels;
- test equipment;
- calibration and verification procedures of test equipment;
- test setups;
- test procedure.

The standard gives specifications for laboratory and in situ tests.

2 Normative references

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

IEC 60050-161:1990, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

3 Terms, definitions and abbreviations

3.1 Terms and definitions

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

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

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

3.1.1
auxiliary equipment

AE

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

3.1.2
burst

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

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

3.1.3
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]

3.1.4
coupling

interaction between circuits, transferring energy from one circuit to another

3.1.5
common mode (coupling)

simultaneous coupling to all lines versus the ground reference plane

3.1.6
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

3.1.7
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 EFT voltage applied to the EUT from affecting other devices, equipment or systems which are not under test

3.1.9
degradation (of 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
EFT/B

electrical fast transient/burst

3.1.11**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 60050-161:1990, 161-01-07]

3.1.12**EUT**

equipment under test

3.1.13**ground reference plane****GRP**

flat conductive surface whose potential is used as a common reference

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

3.1.14**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]

3.1.15**port**

particular interface of the EUT with the external electromagnetic environment

3.1.16**pulse width**

interval of time between the first and last instants at which the instantaneous value reaches 50 % value of the rising and falling edge of the pulse

[SOURCE: IEC 60050-702:1992, 702-03-04, modified]

3.1.17**rise time**

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

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-02-05, modified]

3.1.18**transient**

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

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

3.1.19**unsymmetric mode (coupling)**

single line coupling versus the ground reference plane

3.1.20 verification

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

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

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

3.2 Abbreviations

AE	Auxiliary Equipment
CDN	Coupling/Decoupling Network
EFT/B	Electrical Fast Transient/Burst
EMC	ElectroMagnetic Compatibility
ESD	ElectroStatic Discharge
EUT	Equipment Under Test
GRP	Ground Reference Plane
MU	Measurement Uncertainty
PE	Protective Earth
TnL	Terminator non Linearity

4 General

The repetitive fast transient test is a test with bursts consisting of a number of fast transients, coupled into power, control, signal and earth ports of electrical and electronic equipment. Significant for the test are the high amplitude, the short rise time, the high repetition frequency, and the low energy of the transients.

The test is intended to demonstrate the immunity of electrical and electronic equipment when subjected to types of transient disturbances such as those originating from switching transients (interruption of inductive loads, relay contact bounce, etc.).

5 Test levels

The preferred test levels for the electrical fast transient test, applicable to power, control, signal and earth ports of the equipment are given in Table 1.

Table 1 – Test levels

Open circuit output test voltage and repetition frequency of the impulses				
Level	Power ports, earth port (PE)		Signal and control ports	
	Voltage peak kV	Repetition frequency kHz	Voltage peak kV	Repetition frequency kHz
1	0,5	5 or 100	0,25	5 or 100
2	1	5 or 100	0,5	5 or 100
3	2	5 or 100	1	5 or 100
4	4	5 or 100	2	5 or 100
X ^a	Special	Special	Special	Special

The use of 5 kHz repetition frequency is traditional, however, 100 kHz is closer to reality. Product committees should determine which frequencies are relevant for specific products or product types.

With some products, there may be no clear distinction between power ports and signal ports, in which case it is up to product committees to make this determination for test purposes.

^a "X" can be any level, above, below or in between the others. The level shall be specified in the dedicated equipment specification.

For selection of test levels, see Annex B.

6 Test equipment

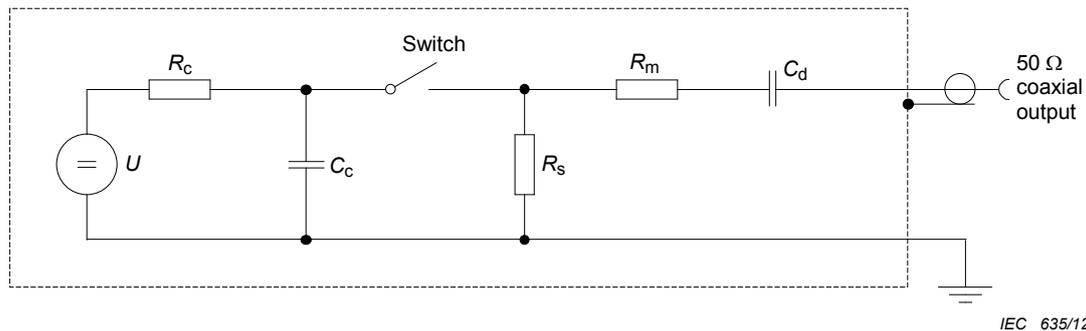
6.1 Overview

The calibration procedures of 6.2.3, 6.3.2 and 6.4.2 ensure the correct operation of the test generator, coupling/decoupling networks, and other items making up the test setup so that the intended waveform is delivered to the EUT.

6.2 Burst generator

6.2.1 General

The simplified circuit diagram of the generator is given in Figure 1. The circuit elements C_c , R_s , R_m , and C_d are selected so that the generator delivers a fast transient under open circuit conditions and with a 50Ω resistive load. The effective output impedance of the generator shall be 50Ω .



IEC 635/12

Components

U	high-voltage source
R_c	charging resistor
C_c	energy storage capacitor
R_s	impulse duration shaping resistor
R_m	impedance matching resistor
C_d	d.c. blocking capacitor
Switch	high-voltage switch

NOTE The characteristics of the switch together with stray elements (inductance and capacitance) of the layout shape the required rise time.

Figure 1 – Simplified circuit diagram showing major elements of a fast transient/burst generator

6.2.2 Characteristics of the fast transient/burst generator

The characteristics of the fast transient/burst generator are the following.

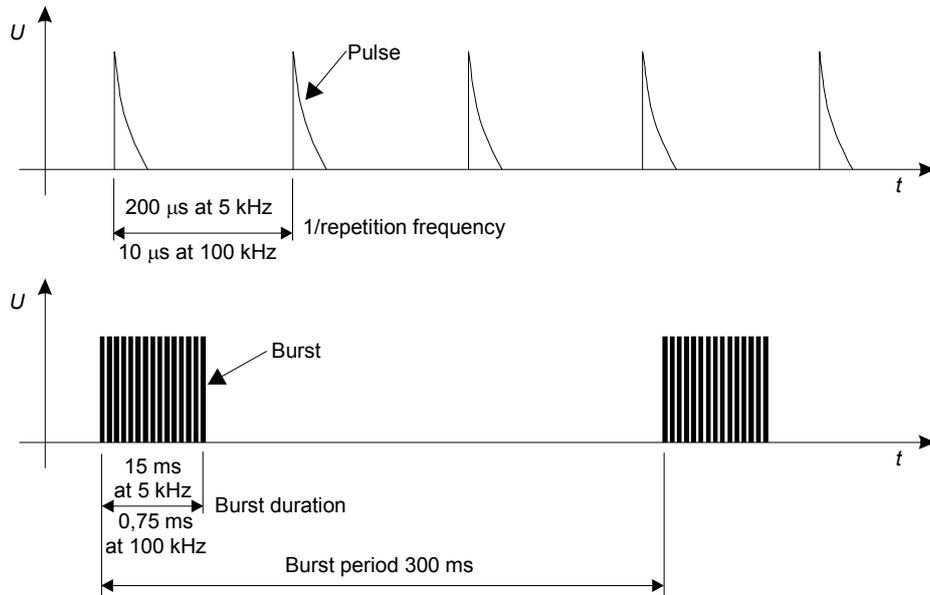
- Output voltage range with 1 000 Ω load shall be at least 0,24 kV to 3,8 kV.
- Output voltage range with 50 Ω load shall be at least 0,125 kV to 2 kV.

The generator shall be capable of operating under short-circuit conditions without being damaged.

Characteristics:

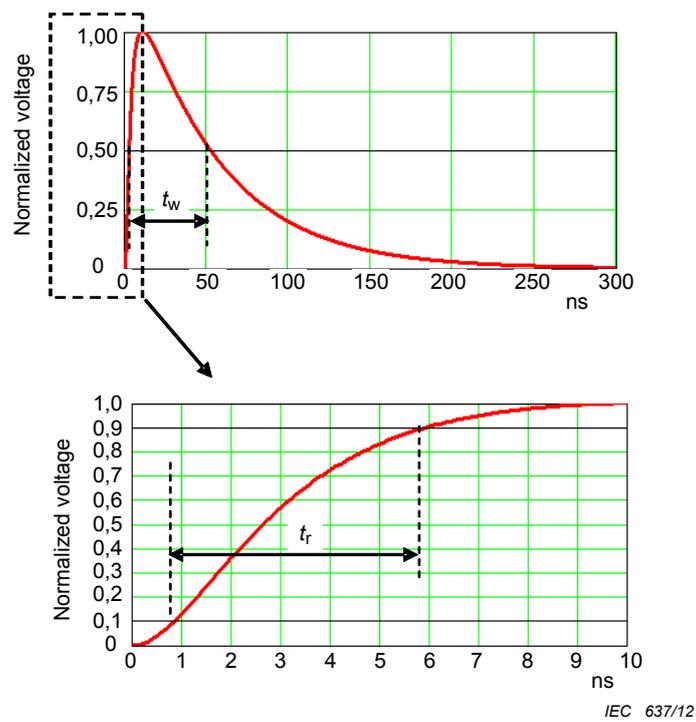
- polarity: positive/negative
- output type: coaxial, 50 Ω
- d.c. blocking capacitor (10 ± 2) nF
- repetition frequency: (see Table 2) ±20 %
- relation to a.c. mains: asynchronous
- burst duration: (15 ± 3) ms at 5 kHz
(see Figure 2) (0,75 ± 0,15) ms at 100 kHz
- burst period: (300 ± 60) ms
(see Figure 2)
- wave shape of the pulse
 - into 50 Ω load
 - rise time $t_r = (5 \pm 1,5)$ ns
 - pulse width $t_w = (50 \pm 15)$ ns
 - peak voltage = according to Table 2, ±10 %

- into 1 000 Ω load
- (see Figure 3 for the 50 Ω wave shape)
- rise time $t_r = (5 \pm 1,5)$ ns
- pulse width $t_w = 50$ ns, with a tolerance of -15 ns to +100 ns
- peak voltage = according to Table 2, ±20 %
(see Note 1 of Table 2)



IEC 636/12

Figure 2 – Representation of an electrical fast transient/burst



IEC 637/12

Figure 3 – Ideal waveform of a single pulse into a 50 Ω load with nominal parameters $t_r = 5$ ns and $t_w = 50$ ns

The formula of the ideal waveform of Figure 3, $v_{\text{EFT}}(t)$, is as follows:

$$v_{\text{EFT}}(t) = k_v \left[\frac{v_1}{k_{\text{EFT}}} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{n_{\text{EFT}}}}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{n_{\text{EFT}}}} \cdot e^{\frac{-t}{\tau_2}} \right]$$

where

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

and

k_v is maximum or peak value of the open-circuit voltage ($k_v = 1$ means normalized voltage)

$$v_1 = 0,92 \quad \tau_1 = 3,5 \text{ ns} \quad \tau_2 = 51 \text{ ns} \quad n_{\text{EFT}} = 1,8$$

NOTE The origin of this formula is given in IEC 62305-1:2010, Annex B.

6.2.3 Calibration of the characteristics of the fast transient/burst generator

The test generator characteristics shall be calibrated in order to establish that they meet the requirements of this standard. For this purpose, the following procedure shall be undertaken.

The test generator output shall be connected to a 50 Ω and 1 000 Ω coaxial termination respectively and the voltage monitored with an oscilloscope. The –3 dB bandwidth of the oscilloscope shall be at least 400 MHz. The test load impedance at 1 000 Ω is likely to become a complex network. The characteristics of the test load impedance are:

- (50 \pm 1) Ω ;
- (1 000 \pm 20) Ω ; the resistance measurement is made at d.c.

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

- ± 1 dB up to 100 MHz
- ± 3 dB from 100 MHz up to 400 MHz.

The following parameters shall be measured:

- peak voltage;
For each of the set voltages of Table 2, measure the output voltage with a 50 Ω load [V_p (50 Ω)]. This measured voltage shall be V_p (50 Ω), with a tolerance of ± 10 %.
With the same generator setting (set voltage), measure the voltage with a 1 000 Ω load [V_p (1 000 Ω)]. This measured voltage shall be V_p (1 000 Ω), with a tolerance of ± 20 %.
- rise time for all set voltages;
- pulse width for all set voltages;
- repetition frequency of the pulses within one burst for any one set voltage;
- burst duration for any one set voltage;
- burst period for any one set voltage.

Table 2 – Output voltage peak values and repetition frequencies

Set voltage kV	V_p (open circuit) kV	V_p (1 000 Ω) kV	V_p (50 Ω) kV	Repetition frequency kHz
0,25	0,25	0,24	0,125	5 or 100
0,5	0,5	0,48	0,25	5 or 100
1	1	0,95	0,5	5 or 100
2	2	1,9	1	5 or 100
4	4	3,8	2	5 or 100

Measures should be taken to ensure that stray capacitance is kept to a minimum.

NOTE 1 Use of a 1 000 Ω load resistor will automatically result in a voltage reading that is 5 % lower than the set voltage, as shown in column V_p (1 000 Ω). The reading V_p at 1 000 Ω = V_p (open circuit) multiplied times 1 000/1 050 (the ratio of the test load to the total circuit impedance of 1 000 Ω plus 50 Ω).

NOTE 2 With the 50 Ω load, the measured output voltage is 0,5 times the value of the unloaded voltage as reflected in the table above.

6.3 Coupling/decoupling network for a.c./d.c. power port

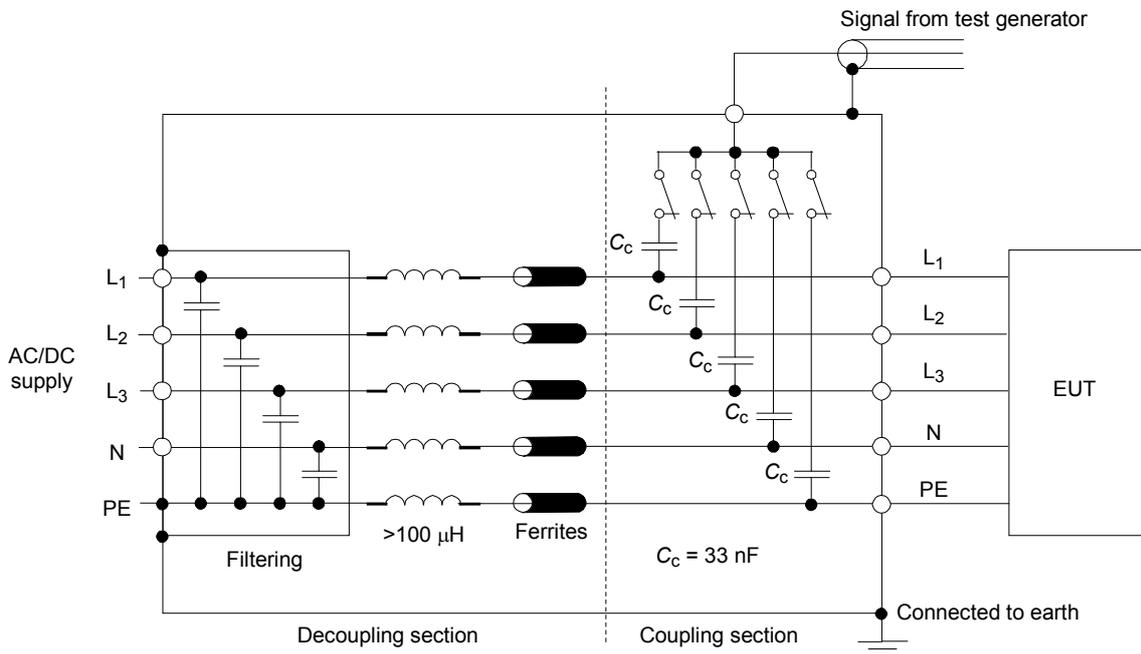
6.3.1 Characteristics of the coupling/decoupling network

The coupling/decoupling network is used for tests of a.c./d.c. power ports.

The circuit diagram (example for a three-phase power port) is given in Figure 4.

The typical characteristics of the coupling/decoupling network are the following:

- decoupling inductor with ferrite: >100 μ H;
- coupling capacitors: 33 nF.



IEC 638/12

Components

- L1, L2, L3, phases
- N neutral
- PE protective earth
- C_c coupling capacitors

Figure 4 – Coupling/decoupling network for a.c./d.c. power mains supply ports/terminals

6.3.2 Calibration of the coupling/decoupling network

Measurement equipment that is specified as suitable to perform the calibrations defined in 6.2.3 shall also be used for the calibration of the characteristics of the coupling/decoupling network.

The coupling/decoupling network shall be calibrated with a generator, which has been shown to be compliant with the requirements of 6.2.3.

The waveform shall be calibrated in common mode coupling, this means to couple the transients to all lines simultaneously. The waveform shall be individually calibrated for each coupling line at each output terminal (L1, L2, L3, N and PE) of the coupling/decoupling network with a single 50 Ω termination to reference ground. Figure 5 shows one of the five calibration measurements, the calibration of L1 to reference ground.

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

Care should be 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 to exceed 0,1 m.

The calibration is performed with the generator output at a set voltage of 4 kV. The generator is connected to the input of the coupling/decoupling network. Each individual output of the CDN (normally connected to the EUT) is terminated in sequence with a 50 Ω load while the other outputs are open. The peak voltage and waveform are recorded for each polarity.

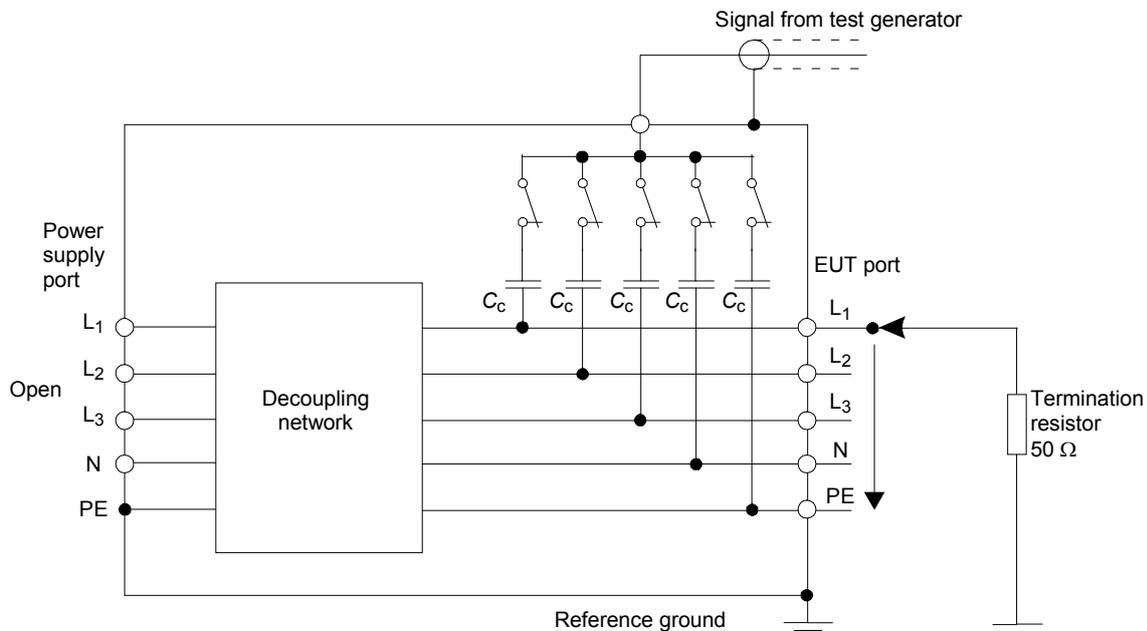
Rise time of the pulses shall be $(5,5 \pm 1,5)$ ns.

Pulse width shall be (45 ± 15) ns.

Peak voltage shall be $(2 \pm 0,2)$ kV, according to Table 2.

NOTE 2 The values shown above are the result of the calibration method of the CDN.

The residual test pulse voltage on the power inputs of the coupling/decoupling network when the EUT and the power network are disconnected shall not exceed 400 V when measured individually at each input terminal (L1, L2, L3, N to PE) with a single 50 Ω termination and when the generator is set to 4 kV and the coupling/decoupling network is set in common mode coupling, this means to couple the transients to all lines simultaneously.



IEC 639/12

Figure 5 – Calibration of the waveform at the output of the coupling/decoupling network

6.4 Capacitive coupling clamp

6.4.1 General

The clamp provides the ability of coupling the fast transients/bursts 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 a ground reference plane. The ground reference plane 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.

When the coupling clamp has only one HV coaxial connector, it should be 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 6. 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

The coupling method using the clamp is used for tests on lines connected to signal and control ports. It may also be used on power ports only if the coupling/decoupling network defined in 6.3 cannot be used (see 7.3.2.1).

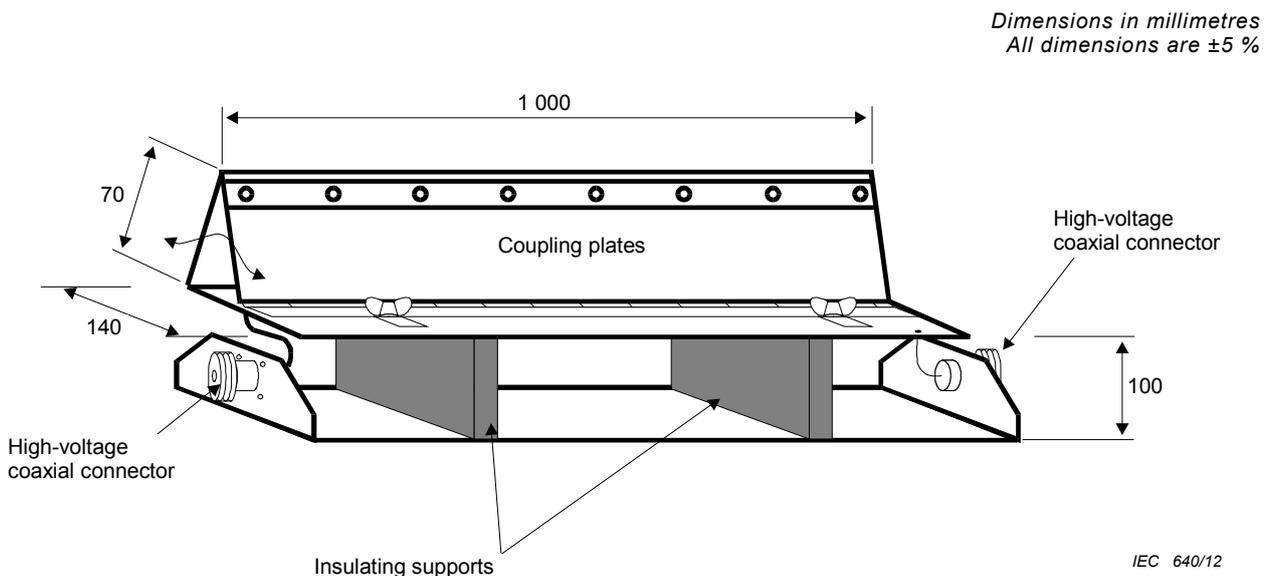


Figure 6 – Example of a capacitive coupling clamp

6.4.2 Calibration of the capacitive coupling clamp

Measurement equipment that is specified as suitable to perform the calibrations defined in 6.2.3 shall also be used for the calibration of the characteristics of the capacitive coupling clamp.

A transducer plate (see Figure 7) 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 8.

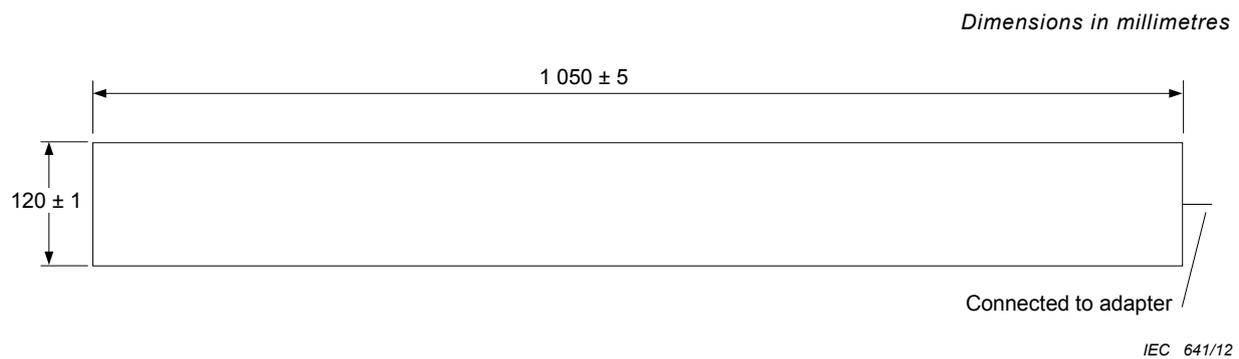


Figure 7 – Transducer plate for coupling clamp calibration

The transducer plate shall consist of a metallic sheet 120 mm × 1 050 mm of maximum 0,5 mm thickness, insulated on top and bottom by a dielectric sheet of 0,5 mm. Insulation 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 maximum of 30 mm long low impedance connection 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 ground reference plane 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 waveform shall be calibrated with a single 50 Ω termination.

The clamp shall be calibrated with a generator, which has been shown to be compliant with the requirements of 6.2.2 and 6.2.3.

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

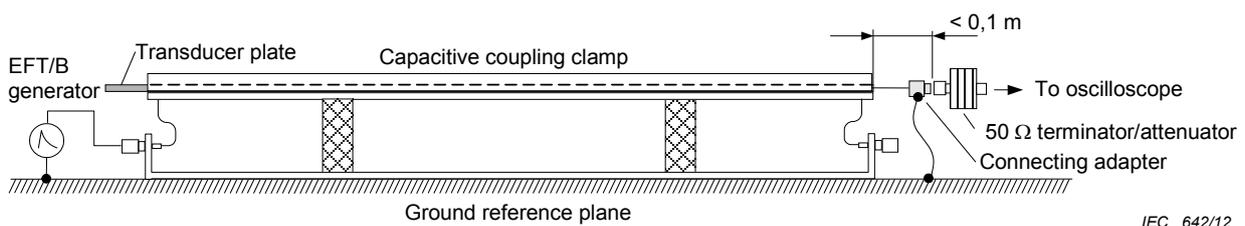


Figure 8 – Calibration of a capacitive coupling clamp using the transducer plate

The generator 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:

- rise time ($5 \pm 1,5$) ns;
- pulse width (50 ± 15) ns;
- peak voltage ($1\,000 \pm 200$) V.

7 Test setup

7.1 General

Different types of tests are defined based on test environments. These are:

- type (conformance) tests performed in laboratories;
- in situ tests performed on equipment in its final installed condition.

The preferred test method is that of type tests performed in laboratories.

The EUT shall be arranged in accordance with the manufacturer's instructions for installation (if any).

7.2 Test equipment

7.2.1 General

The test setup includes the following equipment (see Figure 9):

- ground reference plane;
- coupling device (network or clamp);
- decoupling network, if appropriate;
- test generator.

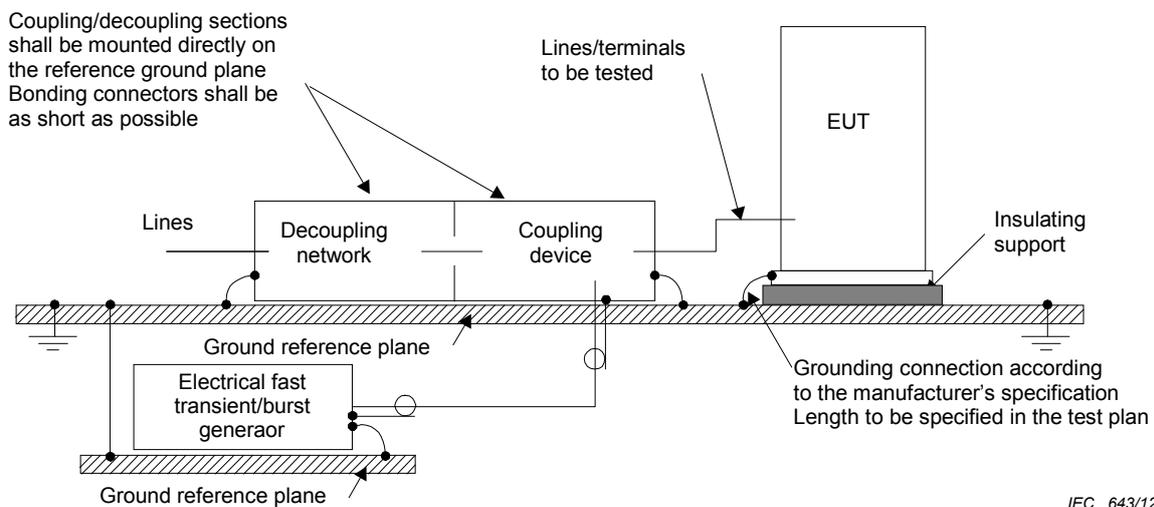


Figure 9 – Block diagram for electrical fast transient/burst immunity test

7.2.2 Verification of the test instrumentation

The purpose of verification is to ensure that the EFT/B test setup is operating correctly between calibrations. The EFT/B test setup includes:

- EFT/B generator;
- CDN;
- capacitive coupling clamp;
- interconnection cables.

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

- EFT/B signal present at the output terminal of the CDN;
- EFT/B signal present at the capacitive coupling clamp.

It is sufficient to verify that burst transients (see Figure 2) are 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 procedure of the capacitive coupling clamp is given in Figure 10.

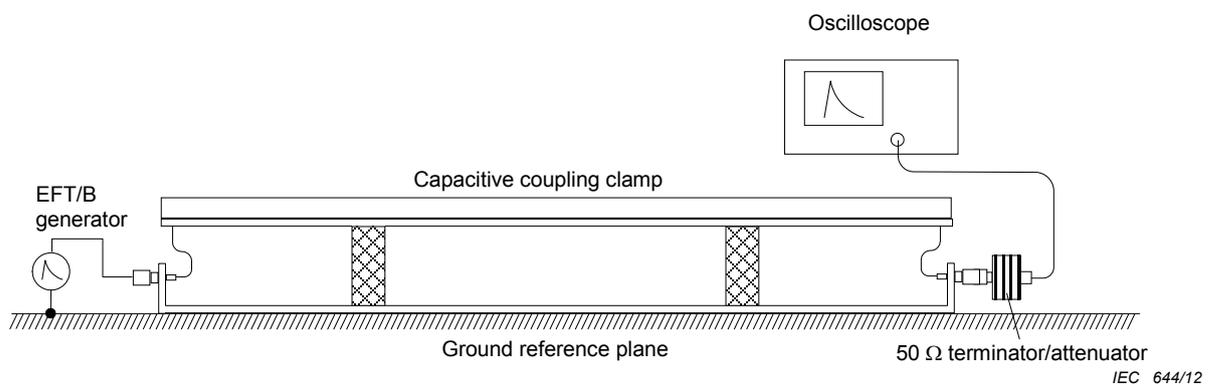


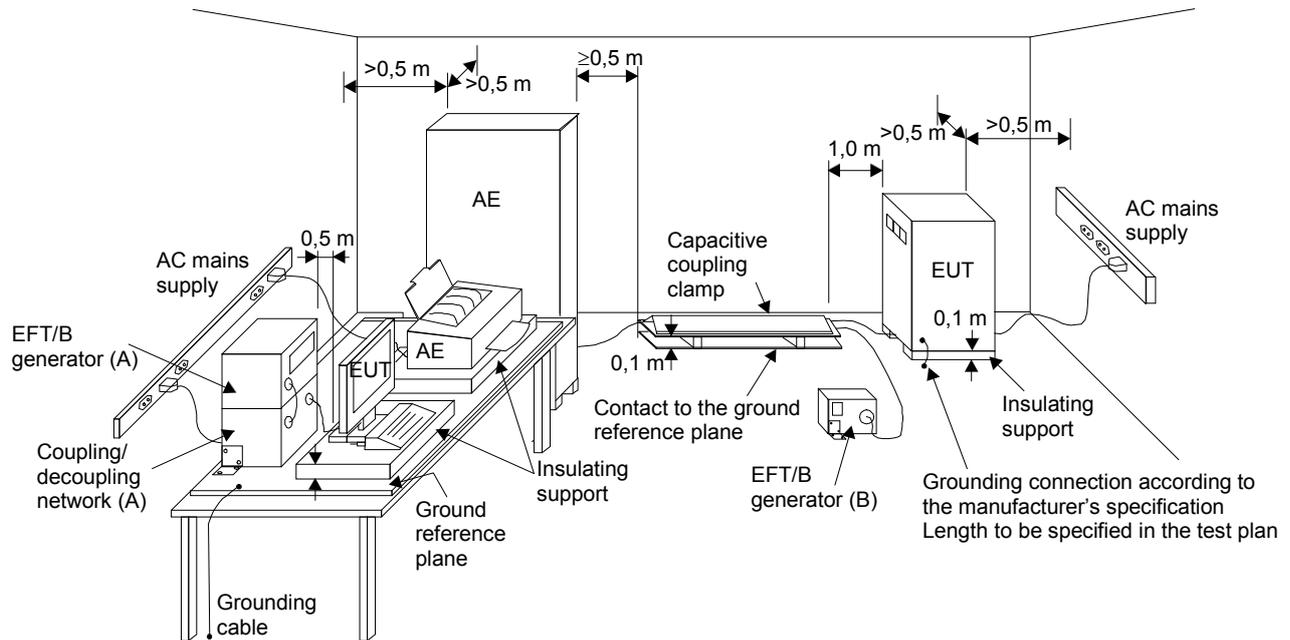
Figure 10 – Example of a verification setup of the capacitive coupling clamp

7.3 Test setup for type tests performed in laboratories

7.3.1 Test conditions

The following requirements apply to tests performed in laboratories with the environmental reference conditions specified in 8.1.

Floor standing EUTs and equipment designed to be mounted in other configurations, unless otherwise mentioned, shall be placed on a ground reference plane and shall be insulated from it by an insulating support with a thickness of $(0,1 \pm 0,05)$ m including non conductive roller/castors (see Figure 11).



IEC 645/12

- (A) location for supply line coupling
- (B) location for signal lines coupling

Figure 11 – Example of a test setup for laboratory type tests

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 ground reference plane.

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 reference plane.

The ground reference plane shall be a metallic sheet (copper or aluminium) of 0,25 mm minimum thickness; other metallic materials may be used, but they shall have at least 0,65 mm minimum thickness.

The minimum size of the ground reference plane is $0,8 \text{ m} \times 1 \text{ m}$. The actual size depends on the dimensions of the EUT.

The ground reference plane shall project beyond the EUT by at least 0,1 m on all sides.

The ground reference plane shall be connected to protective earth (PE) for safety reasons.

The EUT shall be arranged and connected to satisfy its functional requirements, according to the equipment installation specifications.

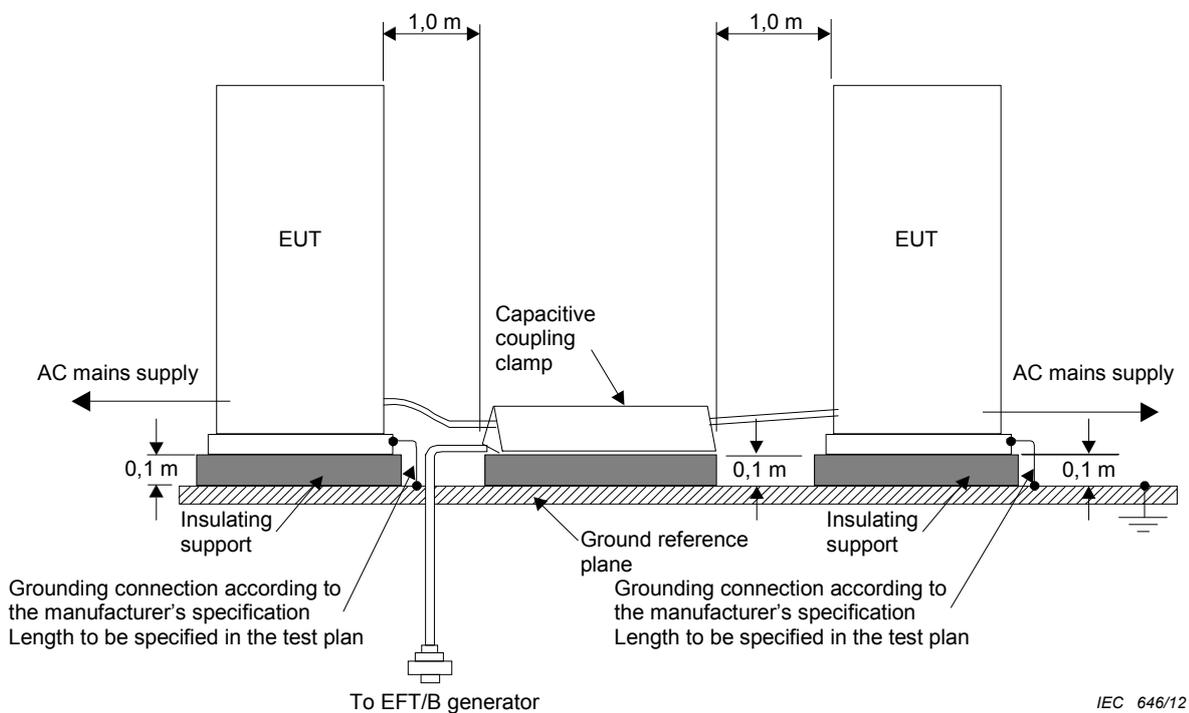
The minimum distance between the EUT and all other conductive structures (including the generator, AE and the walls of a shielded room), except the ground reference plane, shall be more than 0,5 m.

All cables to the EUT shall be placed on the insulation support 0,1 m above the ground reference plane. Cables not subject to electrical fast transients shall be routed as far as possible from the cable under test to minimize the coupling between the cables.

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

The connection impedance of the coupling/decoupling network earth cables to the ground reference plane and all bondings shall provide a low inductance.

Either a direct coupling network or a capacitive clamp shall be used for the application of the test voltages. 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 12).



IEC 646/12

Equipment without cables provided should be tested according to the operating/installation instruction or with a worst case scenario.

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

Figure 12 – Example of test setup using a floor standing system of two EUTs

Equipment with elevated cable entries shall be set up as outlined in Figure 13.

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

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

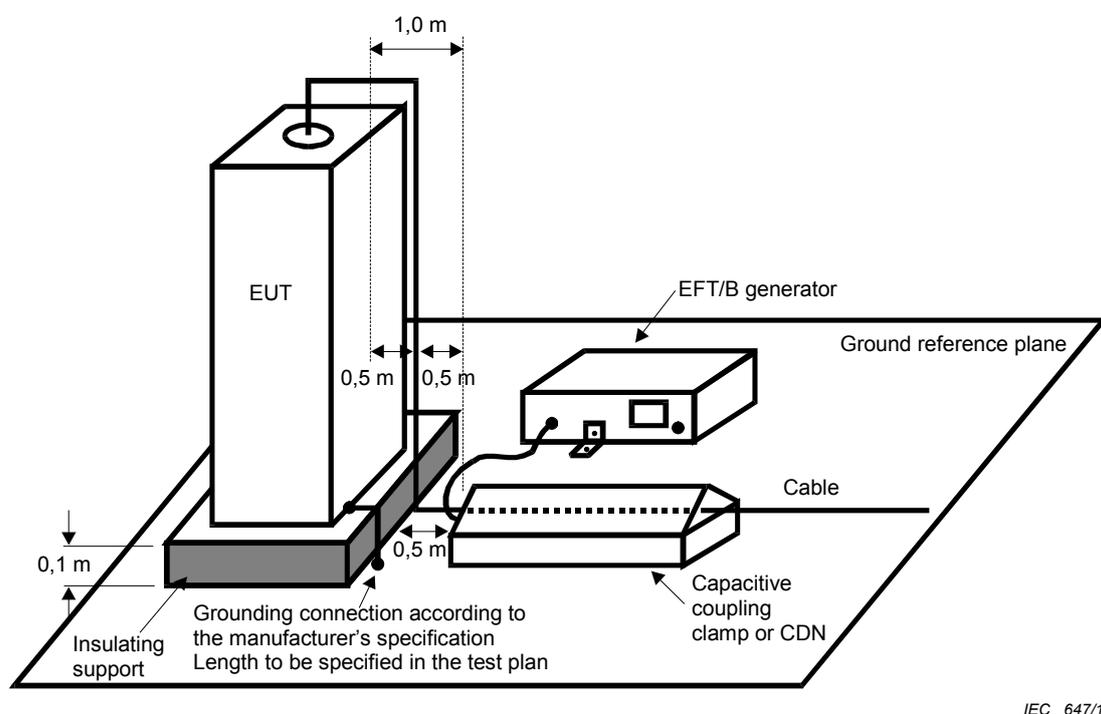
The distance between any coupling devices and the EUT shall be $(0,5 - 0/+0,1)$ m for table-top equipment testing, and $(1,0 \pm 0,1)$ m for floor standing equipment, unless otherwise

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 this clause. 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 ground reference plane. When a capacitive clamp is used as a coupling device, the excess cable length shall be bundled at the AE side.

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

Examples of the test setup for laboratory tests are given in Figure 11 to 14.



IEC 647/12

Figure 13 – Example of a test setup for equipment with elevated cable entries

7.3.2 Methods of coupling the test voltage to the EUT

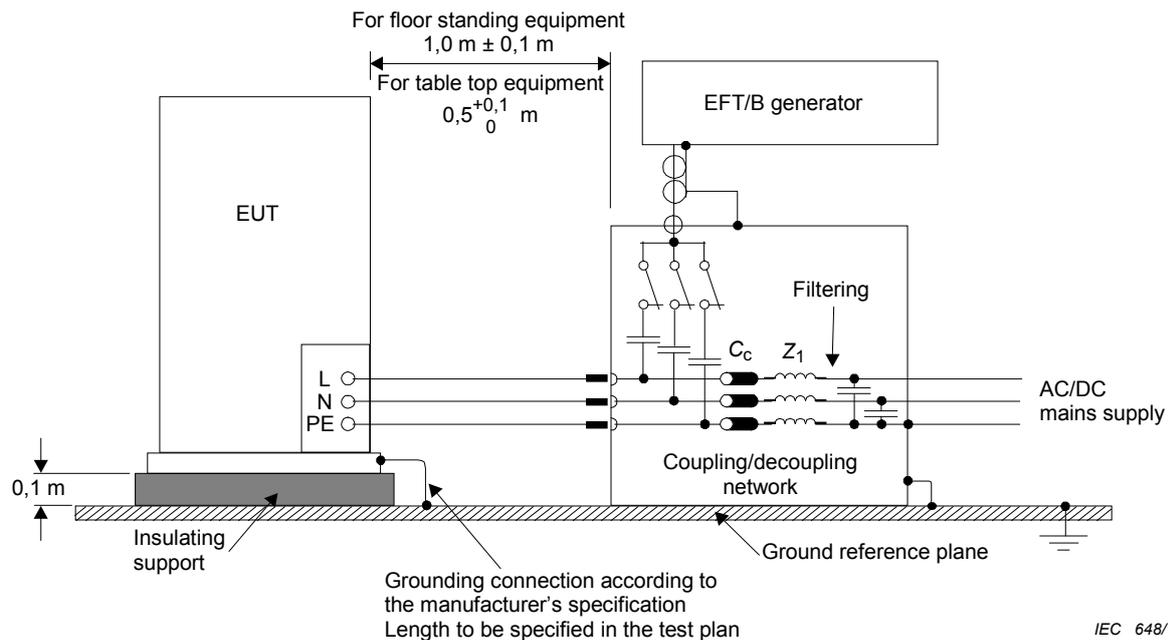
7.3.2.1 General

The method of coupling the test voltage to the EUT is dependent on the type of EUT port (as indicated below).

7.3.2.2 Power ports

An example for the test setup for direct coupling of the EFT/B disturbance voltage via a coupling/decoupling network is given in Figure 14. This is the preferred method of coupling to power ports.

For equipment having a power port with no earth terminal, the test voltage is only applied to L and N lines.



Components

PE	protective earth
N	neutral
L	phase
Z ₁	decoupling inductive
C _c	coupling capacitor

Figure 14 – Example of a test setup for direct coupling of the test voltage to a.c./d.c. power ports for laboratory type tests

If a suitable coupler/decoupler is not available, e.g. for a.c. mains currents >100 A, alternative methods can be employed, as follows:

- in case of common and unsymmetric modes, direct injection using the $(33 \pm 6,6)$ nF capacitors is the preferred coupling mode;
- if direct injection is not practical, the capacitive clamp is used.

7.3.2.3 Signal and control ports

The examples in Figure 11 and Figure 12 show how to use the capacitive coupling clamp for application of the disturbance test voltage to signal and control ports. The cable shall be placed in the centre of the coupling clamp. Non-tested or auxiliary equipment connected may be appropriately decoupled.

7.3.2.4 Earth terminal

The test point on the metallic enclosure of equipment having a power port with earth terminal shall be the terminal of the protective earth conductor.

In case a CDN cannot be used, the test voltage shall be applied to the protective earth (PE) connection through a $(33 \pm 6,6)$ nF coupling capacitor

7.4 Test setup for in situ tests

7.4.1 Overview

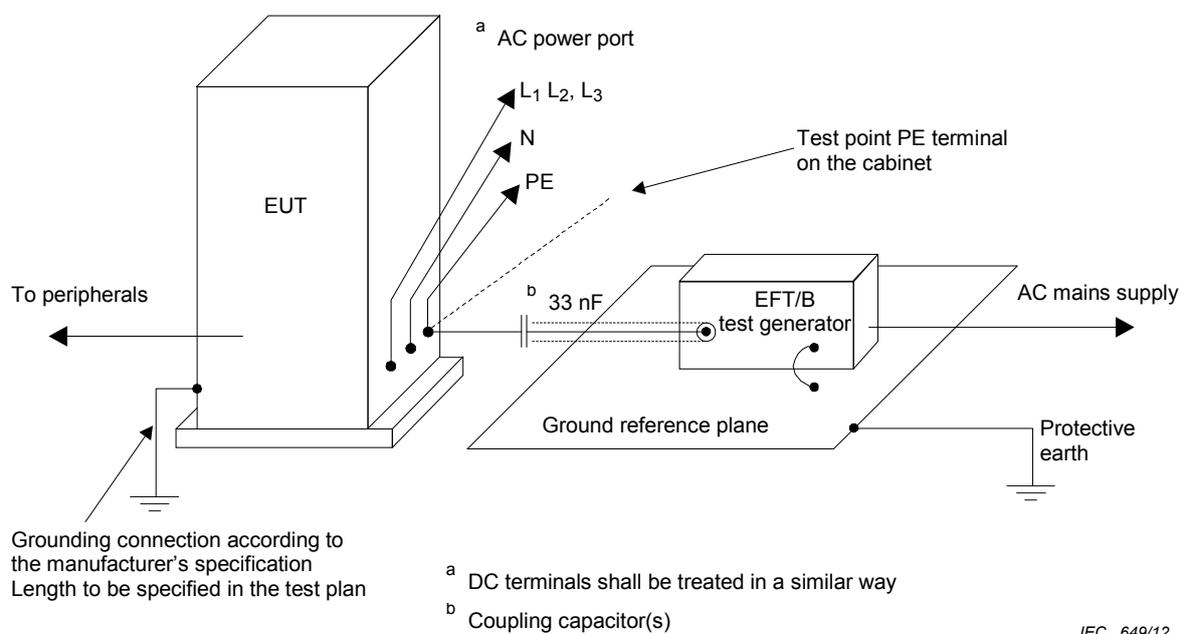
In situ tests may be applied only when agreed between manufacturer and customer. It has to be considered that the test itself may be destructive to the EUT and other co-located equipment may be damaged or otherwise unacceptably affected.

The equipment or system shall be tested in the final installed conditions. In situ tests shall be performed without coupling/decoupling networks in order to simulate the actual electromagnetic environment as closely as possible.

If equipment or system other than the EUT are unduly affected during the test, decoupling networks shall be used by agreement between the user and the manufacturer.

7.4.2 Test on power ports and earth ports

The test voltage shall be applied simultaneously between a ground reference plane and the power supply terminals, a.c. or d.c., and the protective or functional earth port on the EUT cabinet (see Figure 15).



IEC 649/12

Components

PE	protective earth
N	neutral
L1, L2, L3	phases

Figure 15 – Example for in situ test on a.c./d.c. power ports and protective earth terminals for stationary, floor standing EUT

A ground reference plane as described in 7.3.1 shall be mounted near the EUT and connected to the protective earth conductor at the power mains.

The EFT/B generator shall be located on the ground reference plane and connected to the coupling capacitor(s) by a coaxial cable. The shield of the coaxial cable shall not be

connected at the capacitor end. The length of the connection from the coupling capacitor to the ports on the EUT shall be as short as possible. This connection shall be unshielded but well insulated. Coupling capacitors shall have a value of $(33 \pm 6,6)$ nF. All other connections of the EUT should be in accordance with its functional requirements.

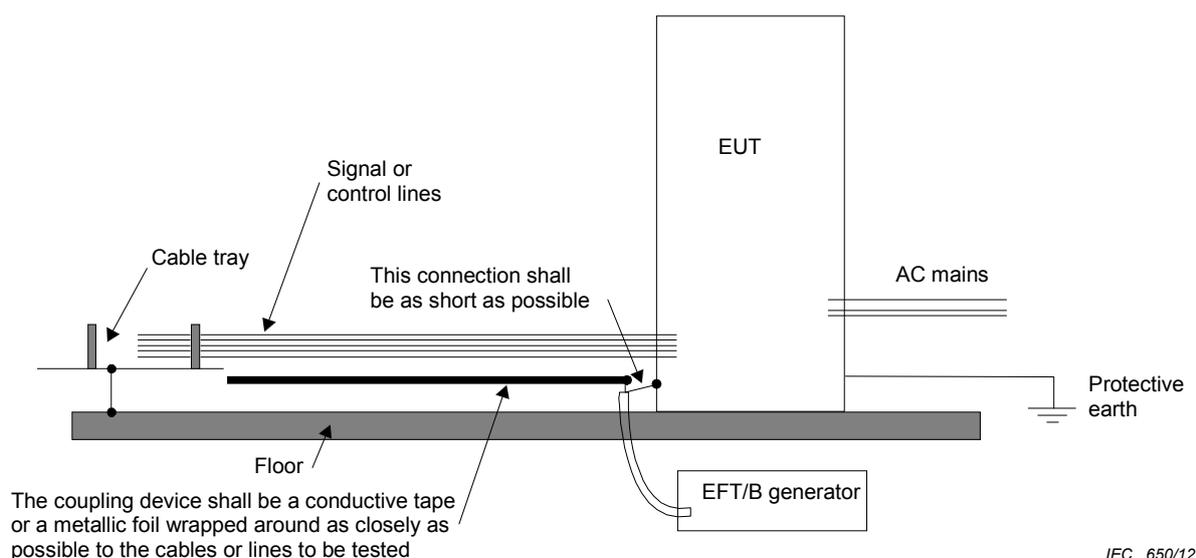
7.4.3 Test on signal and control ports

The capacitive coupling clamp is the preferred method for coupling the test voltage into signal and control ports. The cable shall be placed in the centre of the coupling clamp. If the clamp cannot be used due to mechanical reasons (e.g. size, cable routing) in the cabling, it shall be replaced by a tape or a conductive foil enveloping the lines under test.

An alternative method is to couple the EFT/B generator to the terminals of the lines via discrete (100 ± 20) pF capacitors instead of the distributed capacitance of the clamp or of the foil or tape arrangement.

Earthing of the coaxial cable from the test generator shall be made in the vicinity of the coupling point. Application of the test voltage to the connectors (hot wires) of coaxial or shielded lines is not permitted.

The test voltage should be applied in a way that the shielding protection of the equipment is not reduced (see Figure 16 for the test configuration).



IEC 650/12

Figure 16 – Example of in situ test on signal and control ports without the capacitive coupling clamp

The test results obtained with the discrete capacitor coupling arrangement are likely to be different from those obtained with the coupling clamp or the foil coupling. Therefore, the test levels specified in Clause 5 may be amended by a product committee in a product standard in order to take significant installation characteristics into consideration.

In the in situ test, it can be agreed between manufacturer and user that external cables can be tested by routing all cables simultaneously in the coupling clamp.

8 Test procedure

8.1 General

The test procedure includes:

- the verification of the test instrumentation according to 7.2.2.
- 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 is so high as to cause condensation on the EUT or the test equipment.

8.2.2 Electromagnetic conditions

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

8.3 Execution of the test

The test shall be carried out on the basis of a test plan that shall include the verification of the performances of the EUT as defined in the technical specification.

The EUT shall operate in its normal operating conditions.

The test plan shall specify:

- type of test (laboratory or in situ);
- test level;
- coupling mode (common mode, and unsymmetric mode in the case of in-situ testing or when no CDN is available);
- polarity of the test voltage (both polarities are mandatory);
- duration of the test per port (shall not be less than the time necessary for the EUT to be exercised and to respond but in no case it shall be less than 1 min. Product committees may choose other test durations);
- repetition frequency;
- EUT ports to be tested;
- representative operating conditions of the EUT;
- sequence of application of the test voltage to the ports of the EUT;
- auxiliary equipment (AE).

9 Evaluation of test results

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

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

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

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

10 Test report

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

- the items specified in the test plan required by Clause 8 of this standard;
- identification of the EUT and any associated equipment, e.g. brand name, product type, serial number;
- identification of the test equipment, e.g. brand name, product type, serial number;
- any special environmental conditions in which the test was performed, e.g. shielded enclosure;
- any specific conditions necessary to enable the test to be performed;
- drawing and/or pictures of the test setup and EUT arrangement;
- performance level defined by the manufacturer, requestor or purchaser;
- performance criterion specified in the generic, product or product-family standard;
- any effects on the EUT observed during or after the application of the test disturbance, and the duration for which these effects persist;
- all types of cables, including their length, and the interface port of the EUT to which they were connected;
- the rationale for the pass/fail decision (based on the performance criterion specified in the generic, product or product-family standard, or agreed between the manufacturer and the purchaser);
- any specific conditions of use, for example cable length or type, shielding or grounding, or EUT operating conditions, which are required to achieve compliance.

Annex A (informative)

Information on the electrical fast transients

A.1 General

The electrical fast transient burst (EFT/B) is generated by the switching of inductive loads. This switching transient is commonly referred to as fast transient and may be described in terms of:

- the duration of the burst (which is predominately determined by the energy stored in the inductance prior to switching);
- the repetition frequency of the individual transients;
- the varying amplitude of the transients composing a burst, determined mainly by the mechanical and electrical characteristics of the switching contact (speed of the contacts in the opening operation, voltage withstand capability of the contacts in their open condition).

Generally, the EFT/B has no unique parameters that depend upon the characteristics of the switching contact or the switched load.

A.2 Spike amplitude

The level of the spikes measured on the conductors of a line may have the same value as galvanic connection of this line with the switching contact. In the case of power supply and some control circuits, this may also be true in the proximity (distance of the order of 1 m) of the contacts. In this case, the disturbance is transferred by induction (e.g. capacitive). The amplitude is a fraction of the level measured at the contacts.

A.3 Rise time

It should be noted that as the distance from the source increases, the waveform is modified due to propagation losses, dispersion, and reflections due to distortions caused by the connected loads. The rise time of 5 ns assumed for the specifications of the test generator is a compromise that takes into account the effect of the attenuation of the high frequency components in the spike propagation.

A shorter rise time, e.g. 1 ns, would give more severe test results, and its appropriateness is mainly related to equipment having short connections in the field with reference to the EFT/B source.

NOTE The rise time of the EFT at the source, for voltage range 500 V to 4 kV or more, is very close to the rise time of an electrostatic discharge (in air), the discharge mechanism being the same.

A.4 Spike duration

The real duration differs significantly from that specified in all editions of the standard. The duration specified here is consistent with the duration of the spikes measured as induced in the victim circuits due to less relevance of the low frequency components of the spikes.

A.5 Spike repetition frequency

The repetition frequency depends on many parameters. For example:

- time constant of the charging circuit (resistance, inductance and distributed capacity of the switched inductive load);
- time constant of the switching circuit, including the impedance of the line connecting this load to the switching contact;
- speed of the contact in the opening action;
- withstanding voltage of the switching contact.

The repetition frequency is therefore variable, and the range of one decade or more is quite common.

NOTE In practice, the repetition frequencies of 5 kHz and 100 kHz are selected for testing as the compromise repetition frequencies because of the need to include in one test the range of the most significant parameters of the EFT/B.

A.6 Number of spikes per burst and burst duration

This (these) parameter(s) depend(s) on the energy stored by the switched inductive load as well as the withstand voltage of the switching contact.

The number of spikes per burst is directly related to the spike repetition frequency and burst duration. From measured results, most of the duration of bursts are very near to 2 ms, with the exception of the mercury wetted relay, the use of which is not as common as for the other types considered here.

NOTE The 0,75 ms duration was chosen as the reference time for testing at 100 kHz. Accordingly, 75 is the resultant number of spikes per burst. When testing at 5 kHz the burst duration is 15 ms.

Annex B (informative)

Selection of the test levels

The test levels should be selected in accordance with the most realistic installation and environmental conditions. These levels are outlined in Clause 5 of this standard.

The immunity tests are correlated with these levels in order to establish a performance level for the environment in which the equipment is expected to operate.

For testing signal and control ports, the test voltage values are half of the applied voltages on power ports.

Based on common installation practices, the recommended selection of test levels for EFT/B testing according to the requirements of the electromagnetic environment is the following:

a) Level 1: Well-protected environment

The installation is characterized by the following attributes:

- suppression of all EFT/B in the switched power supply and control circuits;
- separation between power supply lines (a.c. and d.c.) and control and measurement circuits coming from other environments belonging to higher severity levels;
- shielded power supply cables with the screens earthed at both ends on the reference ground of the installation, and power supply protection by filtering.

A computer room may represent this environment.

The applicability of this level for testing the equipment is limited to the power supply circuits for type tests, and particularly to the earthing circuits and equipment cabinets for in situ tests.

b) Level 2: Protected environment

The installation is characterized by the following attributes:

- partial suppression of EFT/B in the power supply and control circuits which are switched only by relays (no contactors);
- poor separation of the industrial circuits belonging to the industrial environment from other circuits associated with environments of higher severity levels;
- physical separation of unshielded power supply and control cables from signal and communication cables.

The control room or terminal room of industrial and electrical plants may represent this environment.

c) Level 3: Typical industrial environment

The installation is characterized by the following attributes:

- no suppression of EFT/B in the power supply and control circuits which are switched only by relays (no contactors);
- poor separation of the industrial circuits from other circuits associated with environments of higher severity levels;
- dedicated cables for power supply, control, signal and communication lines;

- poor separation between power supply, control, signal and communication cables;
- availability of earthing system represented by conductive pipes, earth conductors in the cable trays (connected to the protective earth system) and by a ground mesh.

The area of industrial process equipment may represent this environment.

d) Level 4: Severe industrial environment

The installation is characterized by the following attributes:

- no suppression of EFT/B in the power supply and control and power circuits which are switched by relays and contactors;
- no separation of the industrial circuits belonging to the severe industrial environment from other circuits associated with environments of higher severity levels;
- no separation between power supply, control, signal and communication cables;
- use of multi-core cables in common for control and signal lines.

The outdoor area of industrial process equipment where no specific installation practice has been adopted, power plants, the relay rooms of open-air HV substations and gas insulated substations of up to 500 kV operating voltage (with typical installation practice) may represent this environment.

e) Level X: Special situations to be analysed

The minor or major electromagnetic separation of disturbance sources from equipment circuits, cables, lines etc., and the quality of the installations may require the use of a higher or lower environmental level than those described above. It should be noted that equipment lines of a higher environmental level can penetrate a lower severity environment.

Annex C (informative)

Measurement uncertainty (MU) considerations

C.1 General

The reproducibility of EMC tests relies on many factors, or influences, that affect the test results. These influences may be categorized as random or systematic effects. The compliance of the realized disturbance quantity with the disturbance quantity specified by this standard is usually confirmed through a set of measurements (e.g. measurement of the rise time of an impulse with an oscilloscope by using attenuators). The result of each measurement includes a certain amount of measurement uncertainty (MU) due to the imperfection of the measuring instrumentation as well as to the lack of repeatability of the measurand itself.

In order to evaluate MU it is necessary to

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

In immunity tests estimates and uncertainties are evaluated for the parameters of the disturbance quantity (e.g. rise time, peak and pulse width). 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 number 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 more than one uncertainty budget.

This annex focuses on the uncertainty of calibration for calibration laboratories and test laboratories, which perform their own calibration.

C.2 Uncertainty contributors of EFT/B

Uncertainties can also be specified for the parameters of the disturbance quantity. As such, they describe the degree of agreement of the specified instrumentation with the specifications of this basic standard.

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

- reading of the peak value;

- reading of the 10 % level;
- reading of the 90 % level;
- reading of the 50 % level
- attenuation ratio;
- mismatch chain – oscilloscope;
- termination-attenuator-cable chain;
- oscilloscope horizontal measurement contribution;
- oscilloscope vertical measurement contribution;
- measurement system repeatability (type A);
- variation in test setup (type A);
- calibration of oscilloscope, attenuator.

It shall be recognized that the contributions which apply for calibration and for test may not be the same. This leads to different uncertainty budgets for each process.

C.3 Uncertainty of calibration

C.3.1 General

It is necessary to produce independent uncertainty budgets for each calibration item; that is V_p, t_r, t_w . For an EFT/B test, the disturbance quantity is the pulse energy and spectrum from the EFT generator that is applied to the EUT. As described in Clause C.1, an independent uncertainty budget should be calculated for each of these parameters.

The general approach for pulse MU is described below. Tables C.1 to C.3 give examples of calculated uncertainty budgets for these parameters. The tables include the contributors to the uncertainty budget that are considered most significant for these examples, the details (numerical values, type of distribution, etc.) of each contributor and the results of the calculations required for determining each uncertainty budget.

C.3.2 Rise time of the EFT/B voltage

The measurand is the rise time of the EFT/B voltage across a 50 Ω load and calculated by using the functional relationship

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

where

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

and

- | | |
|------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| $T_{10\%}$ | is the time at 10 % of the peak amplitude; |
| $T_{90\%}$ | is the time at 90 % of the 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 –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 C.1 – Example of uncertainty budget for voltage rise time (t_r)

Symbol	Estimate	Unit	Error bound	Unit	PDF ^a	Divisor	$u(x_i)$	c_i	Unit	$u_i(y)$	Unit
$T_{10\%}$	0,85	ns	0,10	ns	triangular	2,45	0,041	-1,02	1	0,041	ns
$T_{90\%}$	6,1	ns	0,10	ns	triangular	2,45	0,041	1,02	1	0,041	ns
δR	0	ns	0,15	ns	normal ($k = 1$)	1,00	0,150	1,02	1	0,152	ns
A	360	ns·MHz	40	ns·MHz	rectangular	1,73	23,09	$-44 \cdot 10^{-5}$	1/MHz	0,010	ns
B	400	MHz	30	MHz	rectangular	1,73	17,32	$39 \cdot 10^{-5}$	ns/MHz	$6,78 \cdot 10^{-3}$	ns
^a Probability Density Function							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$		0,16		ns
							$U(y) = 2 u_c(y)$		0,33		ns
							Y		5,33		ns
							Expressed in % of 5,33 ns		6,2		%

$T_{10\%}$, $T_{90\%}$: 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 oscilloscope (triangular probability density function). Would this not be the case, a rectangular probability density function should be assumed. Only the contributor to MU due to the sampling rate is considered here; for additional contributors, see C.3.5. 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 C.3.6 and Table C.4). The bandwidth B of the measuring system can be experimentally obtained (direct measurement of the bandwidth) or calculated from the bandwidth B_i of each element of the measurement system (essentially a voltage probe, a cable and a oscilloscope) 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 $T_{90\%}$ to $T_{10\%}$ due to the measuring instrumentation, the layout of the measurement setup and the EFT/B generator itself. It is determined experimentally. This is a type A evaluation based on the formula of the experimental standard deviation $s(q_k)$ of a sample of n repeated measurements q_j and given by

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

where \bar{q} is the arithmetic mean of the q_j values. An error bound $s(q_k) = 150$ ps (1 standard deviation of a normal probability density function) and an estimate of 0 ns are assumed.

NOTE For the voltage across a 1 k Ω load, the budget may be similarly obtained. In that case the bandwidth of the measuring system with the 1 k Ω transducer is used in place of that with the 50 Ω transducer.

C.3.3 Peak voltage of the EFT/B

The measurand is the peak voltage of the EFT/B across a 50 Ω load and calculated by using the functional relationship

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

where

- V_{PR} is the voltage peak reading;
- A is the DC attenuation of the voltage probe;
- δR is the correction for non-repeatability (relative);
- δV is the DC vertical accuracy of the oscilloscope (relative);
- B is the –3 dB bandwidth of the measuring system;
- β is the coefficient whose value is (7,0 ± 0,8) MHz.

Table C.2 – Example of uncertainty budget for EFT/B peak voltage value (V_p)

Symbol	Estimate	Unit	Error bound	Unit	PDF ^a	Divisor	$u(x_i)$	c_i	Unit	$u_i(y)$	Unit
V_{PR}	3,75	V	0,007 3	V	triangular	2,45	0,003 0	1 000	1	2,99	V
A	1 000	1	50	1	rectangular	1,73	28,9	3,75	V	108	V
δR	0	1	0,03	1	normal ($k = 1$)	1,00	0,030	3 751	V	112,5	V
δV	0	1	0,02	1	rectangular	1,73	0,012	3 751	V	43,3	V
β	7,0	MHz	0,8	MHz	rectangular	1,73	0,462	0,328	V/MHz	0,152	V
B	400	MHz	30	MHz	rectangular	1,73	17,32	–0,005 8	V/MHz	0,099 5	V
^a Probability Density Function							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0,162	kV
							$U(y) = 2 u_c(y)$			0,32	kV
							y			3,75	kV
							Expressed in % of 3,75 kV			8,6	%

V_{PR} : is the voltage peak reading. The error bound is obtained assuming that the oscilloscope has 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 oscilloscope 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 C.3.7). The

interval $7,0 \pm 0,8$ is representative of a wide class of systems, each having a different shape of the impulse response.

B: see C.3.2, same meaning and same values both for the estimate and error bound.

For the voltage across a 1 kΩ load, the budget may be similarly obtained. In that case the bandwidth of the measuring system with the 1 kΩ transducer is used in place of that with the 50 Ω transducer.

C.3.4 Pulse width of the EFT/B voltage

The measurand is the pulse width of the EFT/B voltage across a 50 Ω load and calculated by using the functional relationship

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

where

- $T_{50\%,R}$ is the time at 50 % of peak amplitude at the rising edge of the EFT/B;
- $T_{50\%,F}$ is the time at 50 % of peak amplitude at the falling edge of the EFT/B;
- δR is the correction for non-repeatability;
- B is the -3 dB bandwidth of the measuring system;
- β is the coefficient whose value is $(7,0 \pm 0,8)$ MHz.

Table C.3 – Example of uncertainty budget for EFT/B voltage pulse width (t_w)

Symbol	Estimate	Unit	Error bound	Unit	PDF ^a	Divisor	$u(x_i)$	c_i	Unit	$u_i(y)$	Unit	
$T_{50\%,R}$	3,5	ns	0,10	ns	triangular	2,45	0,041	-1,00	ns	0,040 8	ns	
$T_{50\%,F}$	54,5	ns	0,10	ns	triangular	2,45	0,041	1,00	ns	0,040 8	ns	
δR	0	ns	1,5	ns	normal ($k = 1$)	1,00	1,50	1,00	ns	1,50	ns	
β	7,0	MHz	0,8	MHz	rectangular	1,73	0,462	-0,004 5	ns/MHz	0,002 1	ns	
B	400	MHz	30	MHz	rectangular	1,73	17,32	$8,0 \cdot 10^{-5}$	ns/MHz	0,001 4	ns	
^a Probability Density Function							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			1,502	ns	
							$U(y) = 2 u_c(y)$				3,00	ns
							Y				51,0	ns
							Expressed in % of 51,0 ns				5,9	%

$T_{50\%,R}, T_{50\%,F}$: is the time reading at 50 % of the peak amplitude on the rising or falling edge of the EFT/B voltage. The error bound is obtained assuming a sampling frequency of 5 GS/s (the same as in C.3.2) and trace interpolation capability of the oscilloscope (triangular probability density function). Would this not be the case, a rectangular probability density function should be assumed. Only the contributor to MU due to sampling rate is considered here. For additional contributors, see C.3.5. The readings are assumed to be $T_{50\%,R} = 3,5$ ns and $T_{50\%,F} = 54,5$ ns.

δR : quantifies the non-repeatability of the $T_{50\%,F} - T_{50\%,R}$ time difference measurement due to the measuring instrumentation, the layout of the measurement setup and the EFT/B generator itself. It is determined experimentally. This is a type A evaluation quantified by the

experimental standard deviation of a sample of repeated measurements. An error bound $s(q_k)$ = 1,5 ns (1 standard deviation of a normal probability density function) and an estimate of 0 ns are assumed.

β : see C.3.3, same meaning and same values both for the estimate and error bound.

B : see C.3.2, same meaning and same values both for the estimate and error bound.

For the voltage across a 1 k Ω load, the budget may be similarly obtained. In that case, the bandwidth of the measuring system with the 1 k Ω transducer is used in place of that with the 50 Ω transducer.

C.3.5 Further MU contributions to time measurements

Sampling rate: usually, the value of this uncertainty is the half of the inverse of the oscilloscope sampling frequency. The distribution may be assumed as triangular ($k = 2,45$) if trace interpolation is performed to obtain the time for a given trace level (see the oscilloscope manual). Would this not be the case, rectangular distribution with $k = 1,73$ has to be assumed.

Time base error and jitter: the oscilloscope specifications may be taken as uncertainties, with rectangular distributions. 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) triangular distribution is used, otherwise rectangular distribution is used. This contribution is often negligible.

C.3.6 Rise time distortion due to the limited bandwidth of the measuring system

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

$$t_{rd} = \sqrt{t_r^2 + T_{MS}^2} \quad (C.1)$$

where

t_{rd} is the rise time of the signal at the output of the measuring system (distorted rise time);

t_r is the rise time of the signal at the input of the measuring system, and

T_{MS} is the rise time of the step response of the measuring system.

It is important to observe that the derivation of (C.1) is based on the following definition of the rise time

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

where

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

$$\int_0^{\infty} h_0(t) dt = 1;$$

and T_s is the delay time given by

$$T_s = \int_0^{\infty} t h_0(t) dt \tag{C.3}$$

Definition (C.2) is much easier to handle, from the mathematical point of view, than the usual one based on the 10 % and 90 % threshold levels. Nevertheless, in the technical applications, the 10 % to 90 % rise times are usually combined through Equation (C.1). Given the bandwidth of the system the two definitions lead to comparable rise times. Indeed, if we define

$$\alpha = T_{MS} B \tag{C.4}$$

we find that the α values derived from the two definitions of rise time do not differ very much. The values of α , corresponding to different shapes of the impulse response $h(t)$, are given in Table C.4. It is evident from Table C.4 that it is not possible to identify a unique value of α since α depends both on the adopted definition of the rise time (e.g. based on thresholds or on equation (C.2)) and on the shape of the impulse response of the measuring system. A reasonable estimate of α can be obtained as the arithmetic mean between the minimum (321×10^{-3}) and maximum (399×10^{-3}) values that appear in Table 1, that is 360×10^{-3} . Further, it can be assumed that, if no information is available about the measuring system apart from its bandwidth, any value of α between 321×10^{-3} and 399×10^{-3} is equally probable. Differently stated, α is assumed to be a random variable having a rectangular probability density function with lower and upper bounds 321×10^{-3} and 399×10^{-3} , respectively. The standard uncertainty of α quantifies both

- a) the indifference to the mathematical model adopted for the definition of the rise time, and
- b) the indifference to the shape of the impulse response of the system.

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

Values of α are multiplied by 10^3	Gaussian	I order	II order (crititcal damping)	Rectangular	Triangular
α : using Equation (C.2)	332	399	363	321	326
α : 10 % to 90 %	339	350	344	354	353

C.3.7 Impulse peak and width distortion due to the limited bandwidth of the measuring system

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

$$v_{out}(t) = \int_0^t v_{in}(\tau) h(t - \tau) d\tau \tag{C.5}$$

where

$v_{in}(t)$ is the input impulse waveform and

$h(t)$ is the impulse response of the measuring system.

Note that $A \cdot h(t) = h_0(t)$, where A is the 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 .

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

Note that the first order term is missing from (C.6) since $v'(t_p) = 0$. Further $v_{in}''(t_p) < 0$ because the concavity points downwards (maximum), and $v_{in}'''(t_p) > 0$ because, for the standard waveforms of interest here, the rise time is lower than the fall-time. Substituting (C.6) into (C.5) and after simplifications, valid when the bandwidth of the measuring system is large with respect to the bandwidth of the input signal (so that the power series terms whose order is greater than two are negligible), we obtain

$$V_{pd} = \frac{V_p}{A} \left[1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2 \right] \quad (C.7)$$

where

V_{pd} is the output impulse peak,

A is the DC attenuation of the measuring system and

$$\beta = \alpha \sqrt{\frac{|v_{in}''(t_p)|}{4\pi V_p}} \quad (C.8)$$

Note that the parameter β depends on the second derivative of the standard input waveform and on the parameter α defined and derived in C.3.6. Since the mathematical expression for the standard EFT/B waveform is given in 6.2.2, the value of β can be numerically calculated and its value is $(7,0 \pm 0,8)$ MHz.

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

$$V_p t_w = A V_{pd} t_{wd} \quad (C.9)$$

where t_{wd} is the output impulse width.

Hence

$$t_{wd} = \frac{V_p}{A V_{pd}} t_w = \frac{1}{1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2} t_w \quad (C.10)$$

C.4 Calibration of a coupling device

The calibration of EFT/B parameters at the output of coupling / decoupling devices uses the same equipment (attenuators, oscilloscopes, etc...) plus some adapters to connect this measuring equipment to the specific terminals of the coupling / decoupling device.

NOTE Due to the very poor high frequency behaviour of these adapters, it is very difficult to perform reliable high frequency measurements of these adapters and therefore properly determine the uncertainty contributions.

The following procedure is recommended to qualify the adapters:

- DC measurements of the ground connection: it shall be smaller than 0,4 Ω ;
- DC measurements of the inner conductor: it shall be smaller than 0,4 Ω ;
- DC measurements between inner conductor and the ground. This shall have “infinite” value; enough insulation shall be provided to hold the applied EFT/B (2 kV or more);
- characterise the influence of these adapters. For this purpose, establish a reference, by connecting a 50 Ω coaxial termination to the coaxial EFT/B generator output (not to the coupling/decoupling network output) and measure the pulse parameters. Then insert between the generator output and the 50 Ω termination 2 adapters, connected face to face and measure the pulse parameters again. The value of pulse parameters with and without the adaptor pair in the line is estimated on a sufficient number of pulses. The difference between the measured pulse parameters (which represent the insertion losses of the adapters which may be compensated) is finally a measure of the additional uncertainty caused by the adapters. Estimated values are 4 % for voltage amplitudes, 60 ps for rise time, and 4 ns for pulse duration;
- finally, consider the uncertainty of the burst adaptor being equal to the worst observed difference (rectangular distribution assumed). Despite the fact that the influence of the adapters has been obtained using 2 pieces of them, the division by 2 of the observed difference (with and without adapters) is not recommended for the moment.

C.5 Application of uncertainties in the EFT/B generator compliance criterion

Generally, in order to be sure the generator is within its specifications, the calibration results should be within the specified limits of this standard (tolerances are not reduced by MU).

Bibliography

IEC 60050-311:2001, *International Electrotechnical Vocabulary – Electrical and electronic measurements and measuring instruments – Part 311: General terms relating to measurements*

IEC 60050-702:1992, *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 702: Oscillations, signals and related devices*

IEC 61000-4-2:2008, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-2: Testing and measurement techniques – Electrostatic discharge immunity test*

IEC 61000-4-4:2004, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-4: Testing and measurement techniques – Electrical fast transient/burst immunity test²*
Amendment 1 (2010)

IEC 61000-4-5:2005, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-5: Testing and measurement techniques – Surge immunity test*

IEC Guide 107, *Electromagnetic compatibility – Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications*

² Previous (second) edition.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	46
INTRODUCTION.....	48
1 Domaine d'application	49
2 Références normatives.....	49
3 Termes, définitions et abréviations	50
3.1 Termes et définitions	50
3.2 Abréviations	52
4 Généralités.....	52
5 Niveaux d'essai	52
6 Matériel d'essai	53
6.1 Vue d'ensemble.....	53
6.2 Générateur de salves	53
6.2.1 Généralités.....	53
6.2.2 Caractéristiques du générateur de transitoires rapides en salves	54
6.2.3 Etalonnage des caractéristiques du générateur de transitoires rapides en salves	56
6.3 Réseau de couplage/découplage pour l'accès alimentation en courant alternatif et continu.....	57
6.3.1 Caractéristiques du réseau de couplage/découplage	57
6.3.2 Etalonnage du réseau de couplage/découplage.....	58
6.4 Pince de couplage capacitive	59
6.4.1 Généralités.....	59
6.4.2 Etalonnage de la pince de couplage capacitive.....	60
7 Montage d'essai	62
7.1 Généralités.....	62
7.2 Matériel d'essai	62
7.2.1 Généralités.....	62
7.2.2 Vérification de l'instrumentation d'essai	62
7.3 Montage d'essai pour les essais de type en laboratoire	63
7.3.1 Conditions d'essai	63
7.3.2 Méthodes de couplage de la tension d'essai à l'EST.....	66
7.4 Montage d'essai pour essais in situ	68
7.4.1 Vue d'ensemble.....	68
7.4.2 Essai sur les accès alimentation et sur les bornes de terre de protection	68
7.4.3 Essai sur les accès signal et commande.....	69
8 Procédure d'essai.....	70
8.1 Généralités.....	70
8.2 Conditions de référence en laboratoire	70
8.2.1 Conditions climatiques.....	70
8.2.2 Conditions électromagnétiques.....	70
8.3 Exécution de l'essai.....	70
9 Evaluation des résultats d'essai	71
10 Rapport d'essai	71
Annexe A (informative) Informations sur les transitoires électriques rapides.....	73
Annexe B (informative) Sélection des niveaux d'essai	75

Annexe C (informative) Considérations relatives aux incertitudes de mesure (IM)	77
Bibliographie.....	87
Figure 1 – Schéma simplifié montrant les éléments principaux d'un générateur de transitoires rapides en salves	54
Figure 2 – Représentation des transitoires rapides en salves.....	55
Figure 3 – Forme d'onde idéale d'une impulsion unique dans une charge de 50Ω avec les paramètres nominaux $t_r = 5 \text{ ns}$ et $t_w = 50 \text{ ns}$	55
Figure 4 – Réseau de couplage/découplage pour accès et bornes d'alimentation en courant alternatif ou en courant continu	58
Figure 5 – Etalonnage de la forme d'onde à la sortie du réseau de couplage/découplage	59
Figure 6 – Exemple d'une pince de couplage capacitive.....	60
Figure 7 – Plaque transducteur pour l'étalonnage de la pince de couplage	61
Figure 8 – Etalonnage de la pince de couplage capacitive en utilisant la plaque transducteur	61
Figure 9 – Diagramme synoptique de l'essai d'immunité aux transitoires électriques rapides en salves.....	62
Figure 10 – Exemple d'installation de vérification d'une pince de couplage capacitive.....	63
Figure 11 – Exemple de montage d'essai pour les essais de type en laboratoire.....	64
Figure 12 – Exemple de montage d'essai utilisant un système de deux EST posés au sol	65
Figure 13 – Exemple de montage d'essai pour un matériel comportant des entrées de câble par le haut.....	66
Figure 14 – Exemple de montage d'essai pour le couplage direct de la tension d'essai aux accès alimentation en courant alternatif ou en courant continu destiné aux essais de type en laboratoire	67
Figure 15 – Exemple d'essai in situ sur les accès d'alimentation en courant alternatif ou en courant continu sur les bornes de terre de protection pour des EST fixes montés au sol	68
Figure 16 – Exemple d'essais in situ sur les accès signal et commande sans la pince de couplage capacitive	69
Tableau 1 – Niveaux d'essai	53
Tableau 2 – Fréquences de répétition des impulsions et valeurs de crête des tensions de sortie	57
Tableau C.1 – Exemple de bilan d'incertitude relatif au temps de montée de la tension (t_r)	79
Tableau C.2 – Exemple de bilan d'incertitude relatif à la valeur de tension crête (V_P) des TER/S	80
Tableau C.3 – Exemple de bilan d'incertitude relatif à la largeur d'impulsion de la tension (t_w) des TER/S	81
Tableau C.4 – Facteur α (équation (C.4)) de différentes réponses impulsionnelles unidirectionnelles correspondant à la même bande passante du système B	84

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-4: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux transitoires électriques rapides en salves

AVANT-PROPOS

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

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

Elle constitue la Partie 4-4 de la CEI 61000. Elle a le statut de publication fondamentale en CEM en accord avec le Guide 107 de la CEI.

La présente troisième édition annule et remplace la deuxième édition, parue en 2004, et son amendement 1 (2010) et elle constitue une révision technique.

La présente troisième édition améliore et clarifie les spécifications du simulateur, les critères et les montages d'essai.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
77B/670/FDIS	77B/673/RVD

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

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

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

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

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

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. Par conséquent, il convient que les utilisateurs impriment cette publication en utilisant une imprimante couleur.

INTRODUCTION

La CEI 61000 est publiée sous forme de plusieurs parties séparées, conformément à la structure suivante:

Partie 1: Généralités

Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)

Définitions, terminologie

Partie 2: Environnement

Description de l'environnement

Classification de l'environnement

Niveaux de compatibilité

Partie 3: Limites

Limites d'émission

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

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure

Techniques de mesure

Techniques d'essai

Partie 5: Guide d'installation et d'atténuation

Guide d'installation

Méthodes et dispositifs d'atténuation

Partie 6: Normes génériques

Partie 9: Divers

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

La présente partie est une Norme internationale qui donne les exigences d'immunité et les procédures d'essai relatives aux transitoires électriques rapides en salves.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-4: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux transitoires électriques rapides en salves

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61000 concerne l'immunité des matériels électriques et électroniques aux transitoires rapides répétitifs. Elle donne les exigences d'immunité et les procédures d'essai relatives aux transitoires électriques rapides en salves. Elle définit en outre des gammes de niveaux d'essais et établit des procédures d'essai.

L'objet de la présente norme est d'établir une référence commune et reproductible dans le but d'évaluer l'immunité des matériels électriques et électroniques quand ils sont soumis aux transitoires électriques rapides en salves sur les accès d'alimentation, de signal, de commande et de terre. La méthode d'essai documentée dans la présente partie de la CEI 61000 décrit une méthode cohérente dans le but d'évaluer l'immunité d'un matériel ou système vis-à-vis d'un phénomène défini.

NOTE Comme décrit dans le Guide 107 de la CEI, c'est une publication fondamentale en CEM pour l'utilisation par les Comités de produits de la CEI. Comme indiqué également dans le Guide 107, les Comités de produits de la CEI ont la responsabilité de déterminer s'ils appliquent ou non cette norme d'essai d'immunité et, si c'est le cas, ils ont la responsabilité de déterminer les niveaux d'essai et les critères de performance appropriés.¹

La norme définit:

- la forme d'onde de l'essai en tension;
- la gamme des niveaux d'essais;
- le matériel d'essai;
- les procédures d'étalonnage et de vérification du matériel d'essai;
- les montages d'essai;
- la procédure d'essai.

La norme donne des spécifications pour les essais menés en laboratoire et les essais in situ.

2 Références normatives

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

CEI 60050-161:1990, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

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 définitions de la CEI 60050-161, ainsi que les suivants s'appliquent.

NOTE Plusieurs termes et définitions, parmi les plus pertinents de la CEI 60050-161, sont présentés ci-dessous.

3.1.1

équipement auxiliaire

EA

équipement nécessaire pour fournir au matériel en essai (EST) les signaux requis pour un fonctionnement normal et des instruments servant à vérifier les performances du matériel en essai

3.1.2

salve

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

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

3.1.3

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: CEI 60050-311:2001, 311-01-09]

3.1.4

couplage

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

3.1.5

mode commun (couplage)

couplage simultané de toutes les lignes par rapport au plan de sol

3.1.6

pince de couplage

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

3.1.7

réseau de couplage

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

3.1.8

réseau de découplage

circuit électrique dont le but est d'empêcher la tension de TER/S appliquée à l'EST 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: CEI 60050-161:1990, 161-01-19]

3.1.10**TER/S**

transitoire électrique rapide en salves

3.1.11**compatibilité électromagnétique****CEM**

aptitude d'un appareil 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: CEI 60050-161:1990, 161-01-07]

3.1.12**EST**

matériel soumis à l'essai

3.1.13**plan de sol****GRP**

surface conductrice plate dont le potentiel est pris comme référence

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

3.1.14**immunité** (à une perturbation)

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

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

3.1.15**accès**

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

3.1.16**largeur d'impulsion**

durée de l'intervalle de temps entre les premier et dernier instants auxquels la valeur instantanée d'une impulsion atteint 50 % de la valeur des fronts montant et descendant de l'impulsion

[SOURCE: CEI 60050-702:1992, 702-03-04, modifié]

3.1.17**temps de montée**

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

[SOURCE: CEI 60050-161:1990, 161-02-05, modifié]

3.1.18**transitoire**

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: CEI 60050-161:1990, 161-02-01]

3.1.19**mode asymétrique (couplage)**

couplage d'une seule ligne par rapport au plan de sol

3.1.20**vérification**

ensemble des opérations utilisées pour vérifier le système de l'équipement d'essai (par exemple le générateur d'essai et les câbles d'interconnexion) et pour garantir 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: Pour les besoins de la présente norme fondamentale en CEM, cette définition est différente de celle donnée dans le CEI 60050-311:2001, 311-01-13.

3.2 Abréviations

EA	Equipement Auxiliaire
RCD	Réseau de Couplage/Découplage
TER/S	Transitoire Electrique Rapide en Salves
CEM	Compatibilité électromagnétique
DES	Décharge électrostatique
EST	Matériel soumis à l'essai
GRP	Plan de sol
IM	Incertitudes de Mesures
PE	Terre de protection (<i>Protective Earth</i>)
TnL	Non linéarité du dispositif de terminaison (<i>Terminator non Linearity</i>)

4 Généralités

L'essai avec des transitoires rapides répétitifs est un essai comportant des salves composées d'un certain nombre de transitoires rapides, couplés sur les accès d'alimentation, de commande, de signal et de terre des matériels électriques et électroniques. Les éléments significatifs de cet essai sont la forte amplitude, la brièveté du temps de montée, la fréquence de répétition élevée et la faible énergie des transitoires.

L'essai est destiné à démontrer l'immunité des matériels électriques et électroniques lorsqu'ils sont soumis à des perturbations transitoires du type de celles provenant de transitoires de commutation (coupure de charges inductives, rebondissements de contacts de relais, etc.).

5 Niveaux d'essai

Les niveaux d'essai préférentiels pour l'essai aux transitoires rapides, applicables aux accès alimentation, commande, signal et terre de protection du matériel, sont donnés au Tableau 1.

Tableau 1 – Niveaux d'essai

Tension d'essai de sortie en circuit ouvert et fréquence de répétition des impulsions				
Niveau	Accès alimentation, accès terre (PE)		Accès signal et commande	
	Tension de crête kV	Fréquence de répétition kHz	Tension de crête kV	Fréquence de répétition kHz
1	0,5	5 ou 100	0,25	5 ou 100
2	1	5 ou 100	0,5	5 ou 100
3	2	5 ou 100	1	5 ou 100
4	4	5 ou 100	2	5 ou 100
X ^a	Spécial	Spécial	Spécial	Spécial

Il est traditionnel d'utiliser des fréquences de répétition de 5 kHz; cependant, 100 kHz est plus près de la réalité. Il convient que les comités de produits déterminent quelles fréquences sont adaptées à des produits particuliers ou à des types de produits.

Avec certains produits, il peut ne pas y avoir de distinction claire entre les accès alimentation et les accès signal, auquel cas c'est aux comités de produits de le déterminer pour les besoins de l'essai.

^a "X" peut être tout niveau supérieur, inférieur, ou intermédiaire. Le niveau doit être défini dans la spécification du matériel approprié.

Pour le choix des niveaux d'essai, voir l'Annexe B.

6 Matériel d'essai

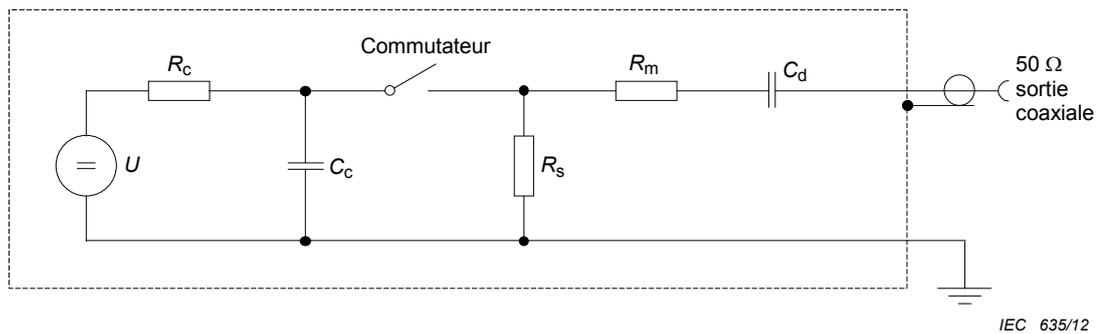
6.1 Vue d'ensemble

Les procédures d'étalonnage de 6.2.3, 6.3.2 et 6.4.2 assurent le fonctionnement correct du générateur d'essai, des réseaux de couplage/découplage, ainsi que des autres dispositifs constituant l'installation d'essai, de façon que la forme d'onde prévue soit délivrée à l'EST.

6.2 Générateur de salves

6.2.1 Généralités

La Figure 1 montre le schéma simplifié du générateur. Les éléments du circuit C_c , R_s , R_m , et C_d sont sélectionnés de telle sorte que le générateur fournisse un transitoire rapide dans des conditions de circuit ouvert et avec une charge résistive de 50 Ω . L'impédance de sortie efficace du générateur doit être de 50 Ω .



Composants

U	source à haute tension
R_c	résistance de charge
C_c	condensateur de stockage d'énergie
R_s	résistance déterminant la durée de l'impulsion
R_m	résistance d'adaptation d'impédance
C_d	condensateur de blocage du courant continu
Interrupteur	Interrupteur haute tension

NOTE Les caractéristiques de l'interrupteur ainsi que les éléments parasites (inductance et capacité) de l'implémentation définissent le temps de montée requis.

Figure 1 – Schéma simplifié montrant les éléments principaux d'un générateur de transitoires rapides en salves

6.2.2 Caractéristiques du générateur de transitoires rapides en salves

Les caractéristiques du générateur de transitoires rapides en salves sont les suivantes.

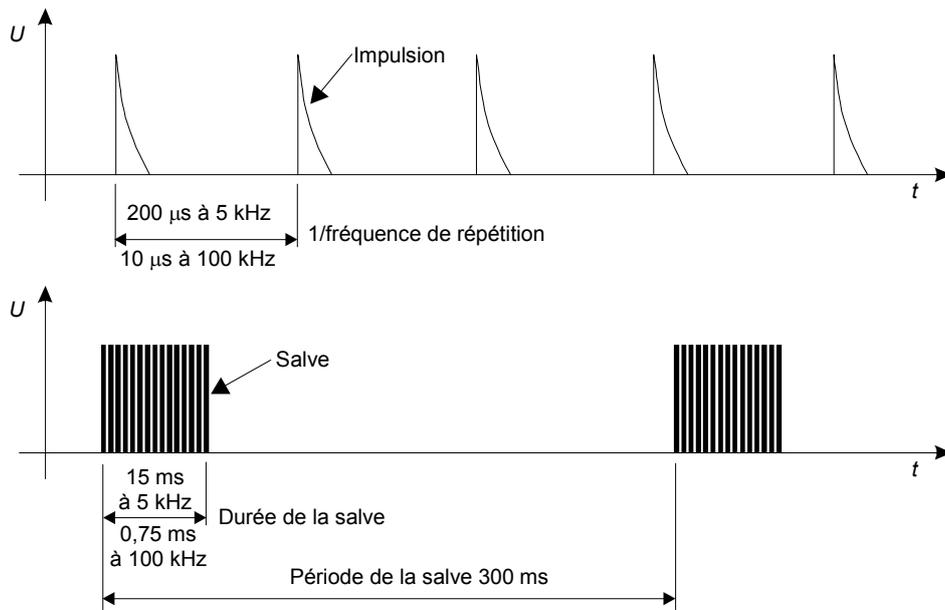
- La plage de tensions de sortie avec une charge de 1 000 Ω doit être d'au moins 0,24 kV à 3,8 kV.
- La plage de tensions de sortie avec une charge de 50 Ω doit être d'au moins 0,125 kV à 2 kV.

Le générateur doit pouvoir fonctionner en court-circuit sans être endommagé.

Caractéristiques:

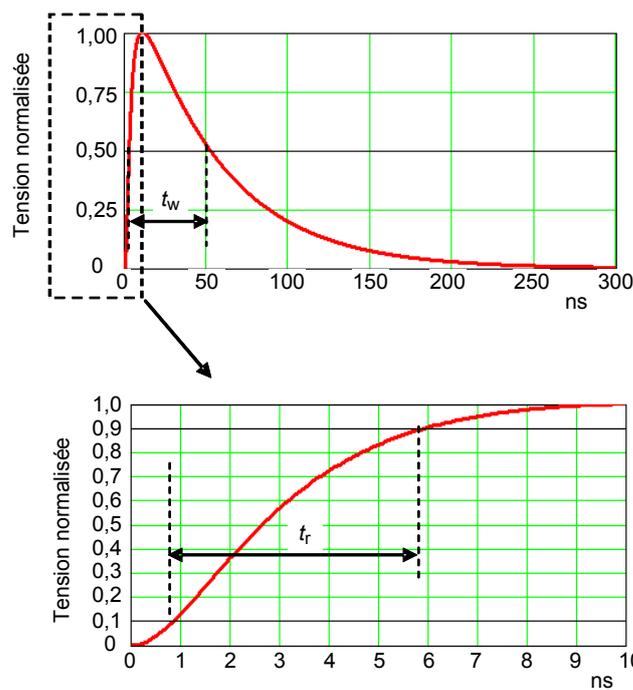
- polarité: positive/négative
- type de sortie: coaxiale, 50 Ω
- condensateur de blocage du courant continu (10 ± 2) nF
- fréquence de répétition: (voir Tableau 2) ±20 %
- relation avec le réseau alternatif d'alimentation asynchrone
- durée de la salve: (15 ± 3) ms à 5 kHz
(voir Figure 2) (0,75 ± 0,15) ms à 100 kHz
- période de la salve: (300 ± 60) ms
(voir Figure 2)
- forme d'onde de l'impulsion
 - sur charge de 50 Ω: temps de montée $t_r = (5 \pm 1,5) \text{ ns}$
largeur d'impulsion $t_w = (50 \pm 15) \text{ ns}$

- sur charge de 1 000 Ω:
 - tension crête = selon le Tableau 2, ±10 %
(voir Figure 3 pour la forme d'onde sur 50 Ω)
 - temps de montée $t_r = (5 \pm 1,5)$ ns
 - largeur d'impulsion $t_w = 50$ ns, avec une tolérance de -15 ns à +100 ns
 - tension crête = selon le Tableau 2, ± 20 %
(voir NOTE 1 du Tableau 2)



IEC 636/12

Figure 2 – Représentation des transitoires rapides en salves



IEC 637/12

Figure 3 – Forme d'onde idéale d'une impulsion unique dans une charge de 50 Ω avec les paramètres nominaux $t_r = 5$ ns et $t_w = 50$ ns

La formule de la forme d'onde idéale de la Figure 3, $v_{\text{TER}}(t)$, est la suivante:

$$v_{\text{EFT}}(t) = k_v \left[\frac{v_1}{k_{\text{EFT}}} \cdot \frac{\left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{n_{\text{EFT}}}}{1 + \left(\frac{t}{\tau_1}\right)^{n_{\text{EFT}}}} \cdot e^{\frac{-t}{\tau_2}} \right]$$

où

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

et

k_v est la valeur maximale ou crête de la tension en circuit ouvert ($k_v = 1$ représente la tension normalisée).

$$v_1 = 0,92 \quad \tau_1 = 3,5 \text{ ns} \quad \tau_2 = 51 \text{ ns} \quad n_{\text{EFT}} = 1,8$$

NOTE L'origine de cette formule figure dans la CEI 62305-1:2010, Annexe B.

6.2.3 Etalonnage des caractéristiques du générateur de transitoires rapides en salves

Les caractéristiques du générateur d'essai doivent être étalonnées de manière à établir leur conformité aux exigences de la présente norme. A cette fin, la procédure suivante doit être entreprise.

La sortie du générateur d'essai doit être connectée à une charge coaxiale de 50 Ω ainsi qu'à une charge coaxiale de 1 000 Ω , et la tension doit être enregistrée avec un oscilloscope. La bande passante à -3 dB de l'oscilloscope doit être d'au moins 400 MHz. L'impédance de la charge d'essai à 1 000 Ω devient vraisemblablement un réseau complexe. Les caractéristiques de l'impédance de la charge d'essai sont:

- (50 \pm 1) Ω ;
- (1 000 \pm 20) Ω ; la mesure de la résistance est faite en courant continu.

La tolérance de la perte d'insertion des deux charges d'essai ne doit pas dépasser les valeurs suivantes:

- ± 1 dB jusqu'à 100 MHz,
- ± 3 dB de 100 MHz à 400 MHz.

Les paramètres suivants doivent être mesurés:

- tension de crête;
 - pour chacune des tensions de consigne du Tableau 2, mesurer la tension de sortie sur une charge de 50 Ω [V_p (50 Ω)]. Cette tension mesurée doit être V_p (50 Ω), avec une tolérance de ± 10 %.
 - avec le même réglage du générateur (tension de consigne), mesurer la tension sur une charge de 1 000 Ω [V_p (1 000 Ω)]. Cette tension mesurée doit être V_p (1 000 Ω), avec une tolérance de ± 20 %.
- temps de montée pour toutes les tensions de consigne;

- largeur d'impulsion pour toutes les tensions de consigne;
- fréquence de répétition des impulsions dans une salve, pour une tension de consigne quelconque;
- durée de la salve, pour une tension de consigne quelconque;
- période de la salve, pour une tension de consigne quelconque.

Tableau 2 – Fréquences de répétition des impulsions et valeurs de crête des tensions de sortie

Tension de consigne kV	V_p (circuit ouvert) kV	V_p (1 000 Ω) kV	V_p (50 Ω) kV	Fréquence de répétition kHz
0,25	0,25	0,24	0,125	5 ou 100
0,5	0,5	0,48	0,25	5 ou 100
1	1	0,95	0,5	5 ou 100
2	2	1,9	1	5 ou 100
4	4	3,8	2	5 ou 100

Il convient de prendre des mesures pour que la capacité parasite soit minimale.

NOTE 1 L'utilisation d'une résistance de charge de 1 000 Ω va automatiquement entraîner la lecture d'une tension de 5 % inférieure à la tension de consigne, comme indiqué à la colonne V_p (1 000 Ω). La lecture V_p à 1 000 Ω = V_p (circuit ouvert) multipliée par 1 000/1 050 (le rapport de la charge d'essai à l'impédance totale du circuit de 1 000 Ω plus 50 Ω).

NOTE 2 Avec la charge de 50 Ω , la tension de sortie mesurée est égale à 0,5 fois la valeur de la tension en circuit ouvert, comme cela apparaît dans le tableau ci-dessus.

6.3 Réseau de couplage/découplage pour l'accès alimentation en courant alternatif et continu

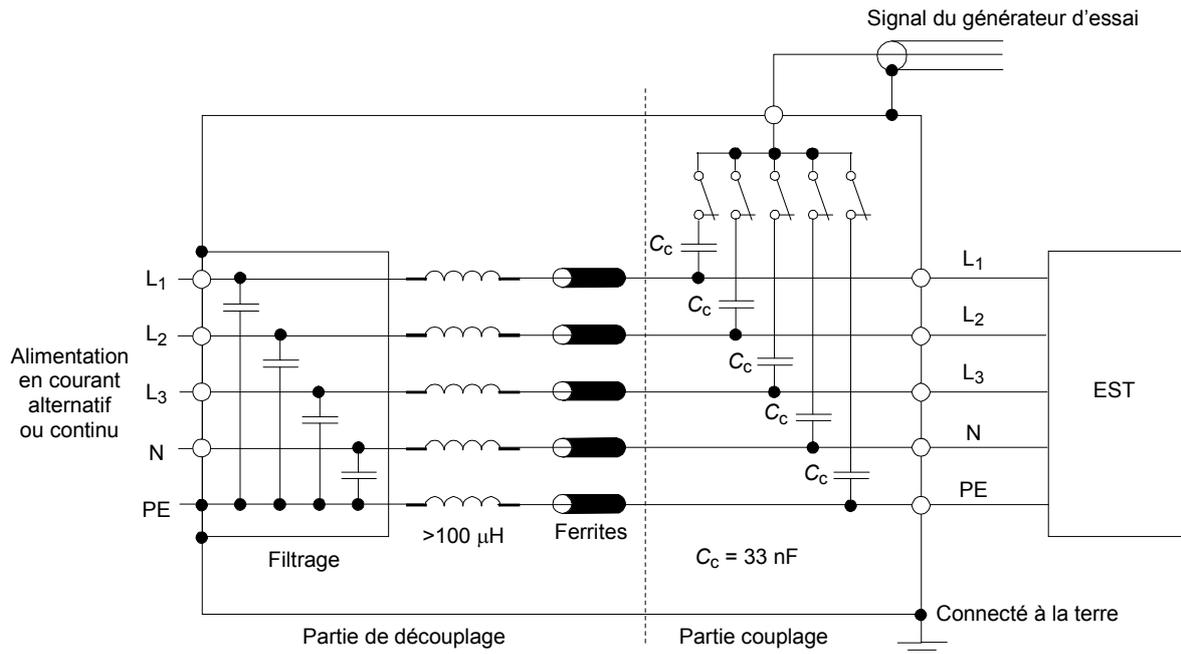
6.3.1 Caractéristiques du réseau de couplage/découplage

Le réseau de couplage/découplage est utilisé pour les essais sur les accès alimentation en courant alternatif et continu.

Le schéma du circuit (exemple pour l'accès alimentation triphasée) est donné à la Figure 4.

Les caractéristiques typiques du réseau de couplage/découplage sont les suivantes:

- inductance de découplage avec ferrite: >100 μ H;
- condensateurs de couplage: 33 nF.



IEC 638/12

Composants

- L1, L2, L3, phases
- N neutre
- PE terre de protection
- C_c condensateurs de couplage

Figure 4 – Réseau de couplage/découplage pour accès et bornes d'alimentation en courant alternatif ou en courant continu

6.3.2 Etalonnage du réseau de couplage/découplage

Le matériel de mesure spécifié comme étant approprié pour effectuer les étalonnages définis en 6.2.3 doit également être utilisé pour l'étalonnage des caractéristiques du réseau de couplage/découplage.

Le réseau de couplage/découplage doit être étalonné avec un générateur dont la conformité aux exigences de 6.2.3 a été démontrée.

La forme d'onde doit être étalonnée en couplage en mode commun, ce qui implique le couplage des transitoires à toutes les lignes, simultanément. La forme d'onde doit être étalonnée individuellement pour chaque ligne de couplage à chaque borne de sortie (L1, L2, L3, N et PE) du réseau de couplage/découplage, avec une seule charge de 50 Ω reliée à la terre de référence. La Figure 5 montre une des cinq mesures d'étalonnage, celle de L1 à la terre de référence.

NOTE 1 La vérification de chaque ligne de couplage séparément est effectuée afin de s'assurer que chaque ligne fonctionne correctement et est étalonnée.

Il convient de prendre soin d'utiliser des adaptateurs coaxiaux pour réaliser l'interface au réseau de couplage/découplage (RCD).

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

L'étalonnage est effectué avec la sortie du générateur à une tension de consigne de 4 kV. Le générateur est connecté à l'entrée du réseau de couplage/découplage. Chaque sortie du RCD (connectée à l'EST en conditions normales) est chargée séquentiellement par 50Ω , alors que les autres sorties restent ouvertes. La tension de crête et la forme d'onde sont enregistrées pour chaque polarité.

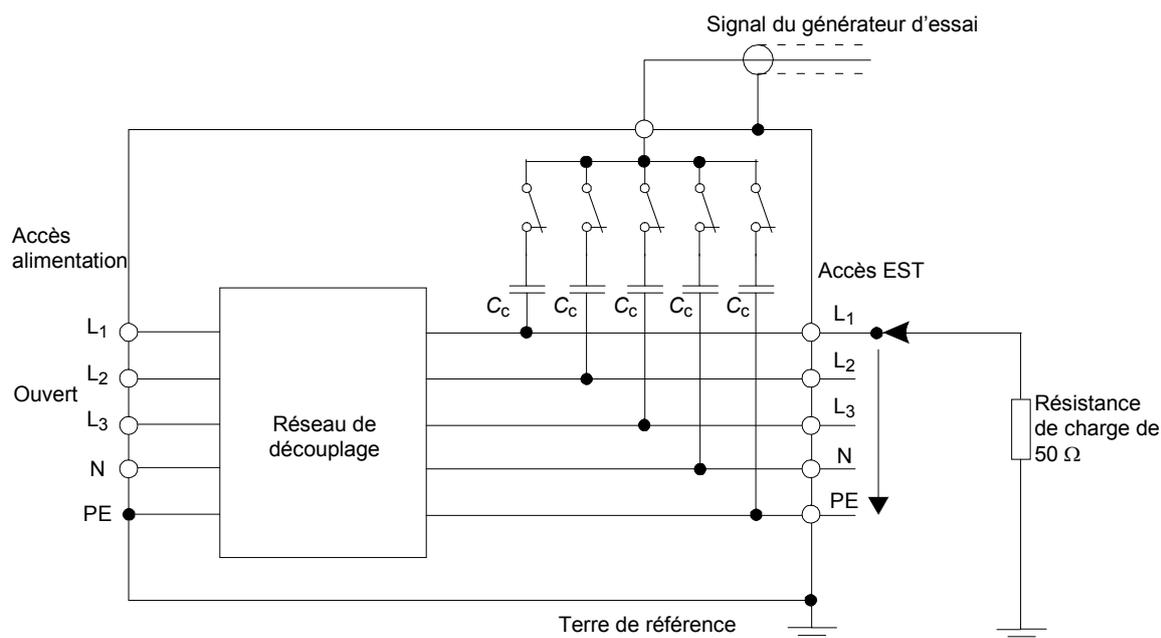
Le temps de montée des impulsions doit être de $(5,5 \pm 1,5)$ ns.

La largeur d'impulsion doit être de (45 ± 15) ns.

La tension de crête doit être de $(2 \pm 0,2)$ kV, selon le Tableau 2.

NOTE 2 Les valeurs indiquées ci-dessus résultent de la méthode d'étalonnage du RCD.

Lorsque l'EST et le réseau d'alimentation sont déconnectés, la tension impulsionnelle résiduelle d'essai sur les entrées alimentation du réseau de couplage/découplage ne doit pas dépasser 400 V quand elle est mesurée individuellement à chaque borne d'entrée (L1, L2, L3, N par rapport au PE) avec une seule charge de 50Ω et quand le générateur est réglé à 4 kV et que le réseau de couplage/découplage est en couplage de mode commun, ce qui implique le couplage des transitoires à toutes les lignes, simultanément.



IEC 639/12

Figure 5 – Etalonnage de la forme d'onde à la sortie du réseau de couplage/découplage

6.4 Pince de couplage capacitive

6.4.1 Généralités

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

La capacité de couplage de la pince dépend du diamètre, du matériau des câbles et 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 il doit être placé sur un plan de sol. Le plan de sol 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'EST.

Si la pince de couplage comporte un seul connecteur coaxial HT, il convient de l'installer de manière à ce que le connecteur coaxial HT soit le plus proche possible de l'EST.

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

Un exemple de disposition mécanique de la pince de couplage capacitive est donné à la Figure 6. 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

La méthode de couplage par pince est utilisée pour les essais sur les lignes connectées aux accès de signal et de commande. Elle peut aussi être utilisée aux accès d'alimentation seulement si le réseau de couplage/découplage défini en 6.3 n'est pas utilisable (voir 7.3.2.1).

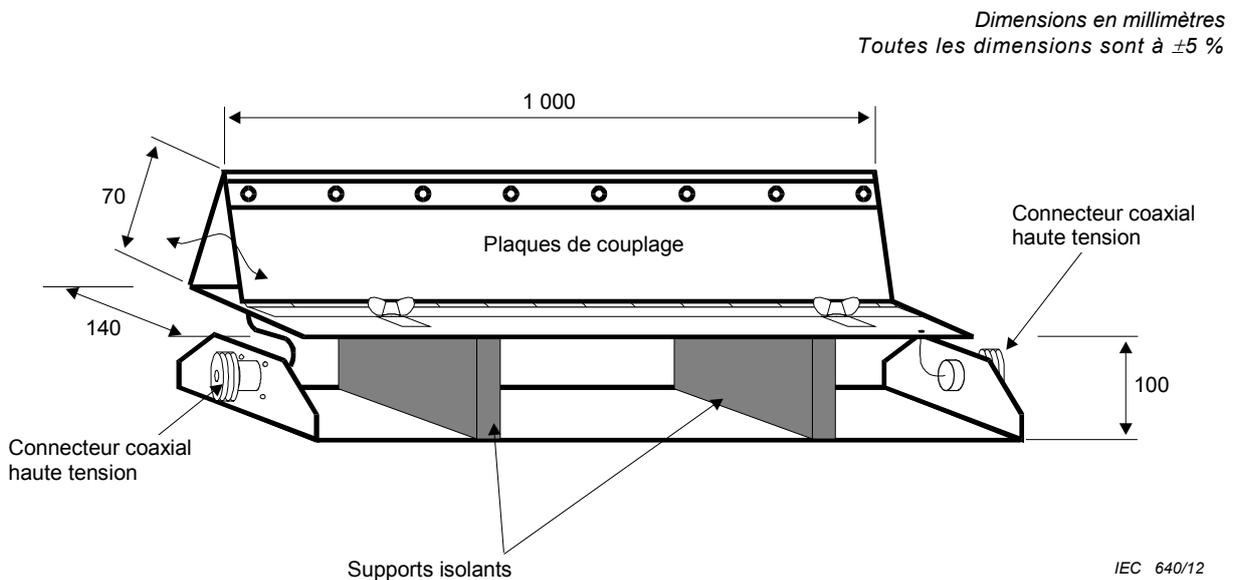


Figure 6 – Exemple d'une pince de couplage capacitive

6.4.2 Etalonnage de la pince de couplage capacitive

Le matériel de mesure spécifié comme étant approprié pour effectuer les étalonnages définis en 6.2.3 doit également être utilisé pour l'étalonnage des caractéristiques de la pince de couplage capacitive.

Une plaque transducteur (voir Figure 7) 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/d'un atténuateur de mesure. La Figure 8 en montre le schéma.

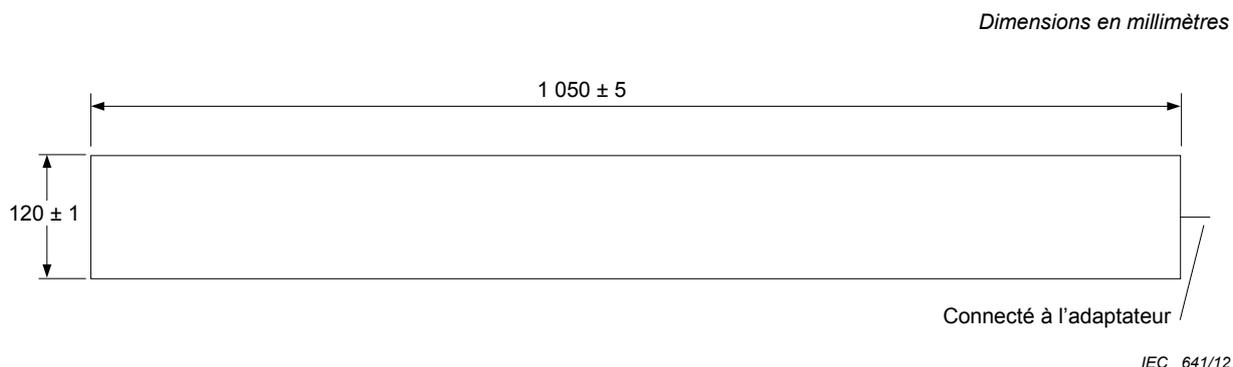


Figure 7 – Plaque transducteur pour l'étalonnage de la pince de couplage

La plaque transducteur doit se composer d'une feuille métallique de 120 mm × 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 de longueur maximale 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 plan de sol pour la mise à la terre du dispositif de terminaison/l'atténuateur de mesure de 50 Ω. La distance entre la plaque transducteur et le dispositif de terminaison/l'atténuateur 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 est sans importance.

La forme d'onde doit être étalonnée avec une seule charge de 50 Ω.

La pince doit être étalonnée avec un générateur dont la conformité aux exigences de 6.2.2 et de 6.2.3 a été démontrée.

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

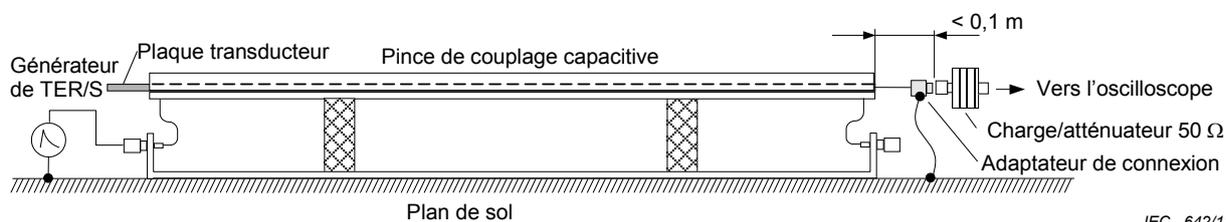


Figure 8 – Etalonnage de la pince de couplage capacitive en utilisant la plaque transducteur

Le générateur 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:

- temps de montée ($5 \pm 1,5$) ns;
- largeur d'impulsion (50 ± 15) ns;
- tension crête ($1\ 000 \pm 200$) V.

7 Montage d'essai

7.1 Généralités

Des types d'essais différents basés sur des environnements d'essai sont définis. Ce sont:

- les essais de type (de conformité) réalisés en laboratoire;
- les essais in situ effectués sur les matériels dans les conditions finales d'installation.

La méthode d'essais de type effectués en laboratoire est préférable.

La disposition de l'EST doit être en accord avec les instructions d'installation fournies par le fabricant (si elles existent).

7.2 Matériel d'essai

7.2.1 Généralités

Le montage d'essai comporte l'équipement suivant (voir Figure 9):

- plan de sol;
- dispositif de couplage (réseau ou pince);
- réseau de découplage, si cela est approprié;
- générateur d'essai.

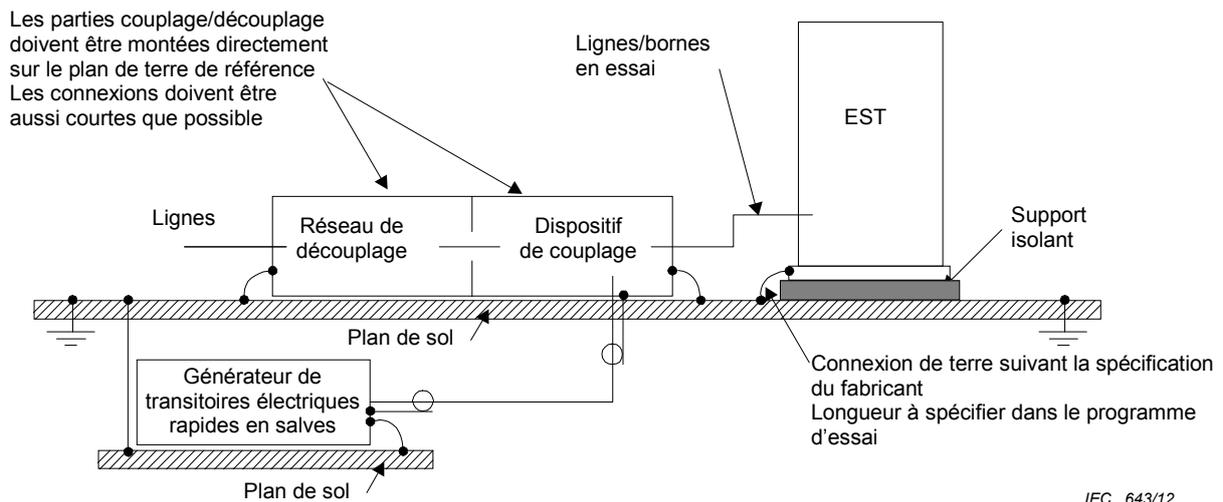


Figure 9 – Diagramme synoptique de l'essai d'immunité aux transitoires électriques rapides en salves

7.2.2 Vérification de l'instrumentation d'essai

Le but de la vérification est de s'assurer que l'installation d'essai de TER/S fonctionne correctement entre les étalonnages. Le montage d'essai de TER/S comprend:

- le générateur de TER/S;
- le RCD;
- la pince de couplage capacitive;
- les câbles d'interconnexion.

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

- le signal de TER/S présent à la borne de sortie du RCD;
- le signal de TER/S présent sur la pince de couplage capacitive.

Il est suffisant de vérifier que les transitoires en salves (voir Figure 2) sont présents à n'importe quel niveau en utilisant l'équipement de mesure approprié (par exemple, un oscilloscope) sans qu'un EST 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 procédure de vérification de la pince de couplage capacitive est donné à la Figure 10.

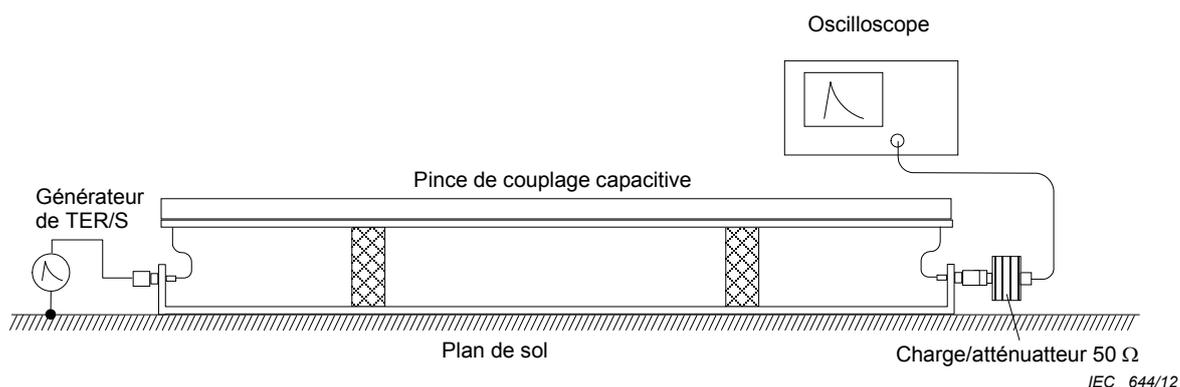


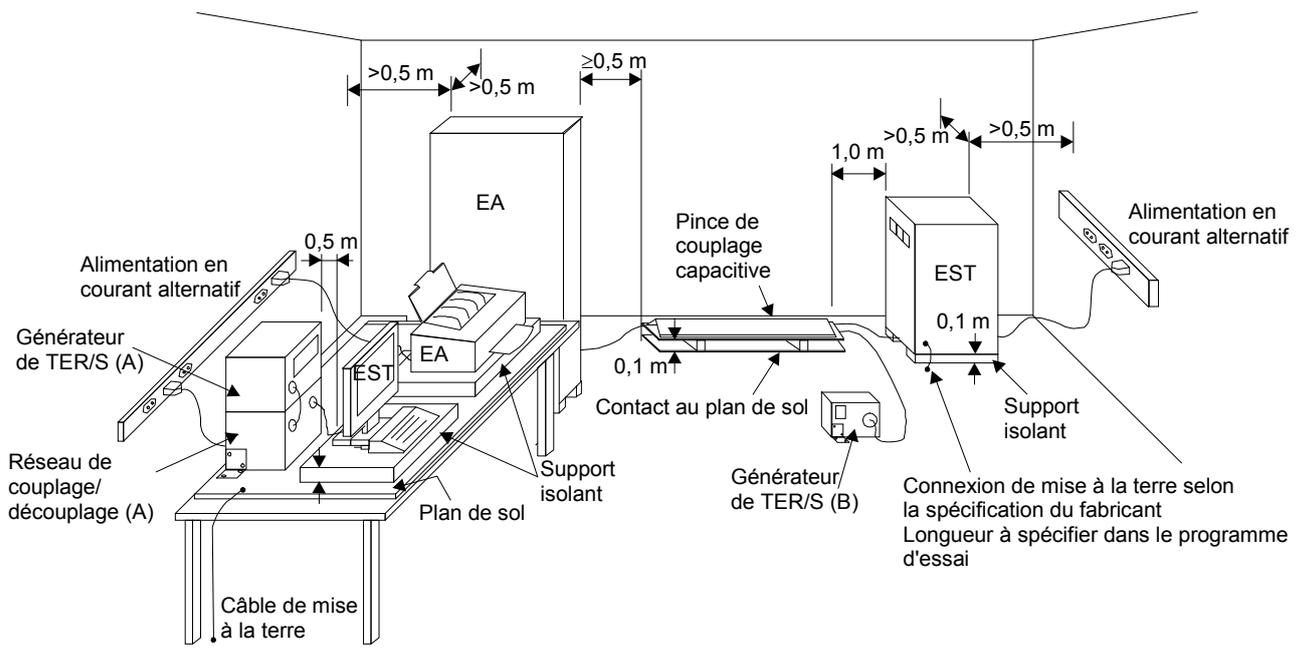
Figure 10 – Exemple d'installation de vérification d'une pince de couplage capacitive

7.3 Montage d'essai pour les essais de type en laboratoire

7.3.1 Conditions d'essai

Les exigences suivantes s'appliquent aux essais exécutés en laboratoire dans les conditions d'environnement de référence décrites en 8.1.

Les EST posés au sol et les matériels conçus pour être montés dans d'autres configurations doivent être placés, sauf indication contraire, sur un plan de sol et doivent en être isolés de celui-ci par un support isolant d'une épaisseur de $(0,1 \pm 0,05)$ m, incluant les roulettes/roulettes pivotantes non conductrices (voir Figure 11).



IEC 645/12

- (A) emplacement pour le couplage sur les lignes d'alimentation
- (B) emplacement pour le couplage sur les lignes signaux

Figure 11 – Exemple de montage d'essai pour les essais de type en laboratoire

Le matériel de table et le matériel normalement monté au plafond ou sur les murs, ainsi que le matériel encastré doivent être soumis aux essais avec l'EST situé à $(0,1 \pm 0,01)$ m au-dessus du plan de sol.

Les essais sur les matériels de tables 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 au même potentiel que le plan de sol.

Le plan de sol doit être une feuille de métal (cuivre ou aluminium) d'au moins 0,25 mm d'épaisseur; d'autres matériaux métalliques peuvent être utilisés, mais ils doivent alors avoir une épaisseur d'au moins 0,65 mm.

La dimension minimale du plan de sol est de 0,8 m × 1 m. La dimension réelle dépend des dimensions de l'EST.

Le plan de sol doit dépasser d'au moins 0,1 m de toutes les faces de l'EST.

Pour des raisons de sécurité, le plan de sol doit être connecté à la terre de protection (PE).

L'EST doit être disposé et connecté de manière à satisfaire à ses exigences fonctionnelles conformément aux spécifications d'installation du matériel.

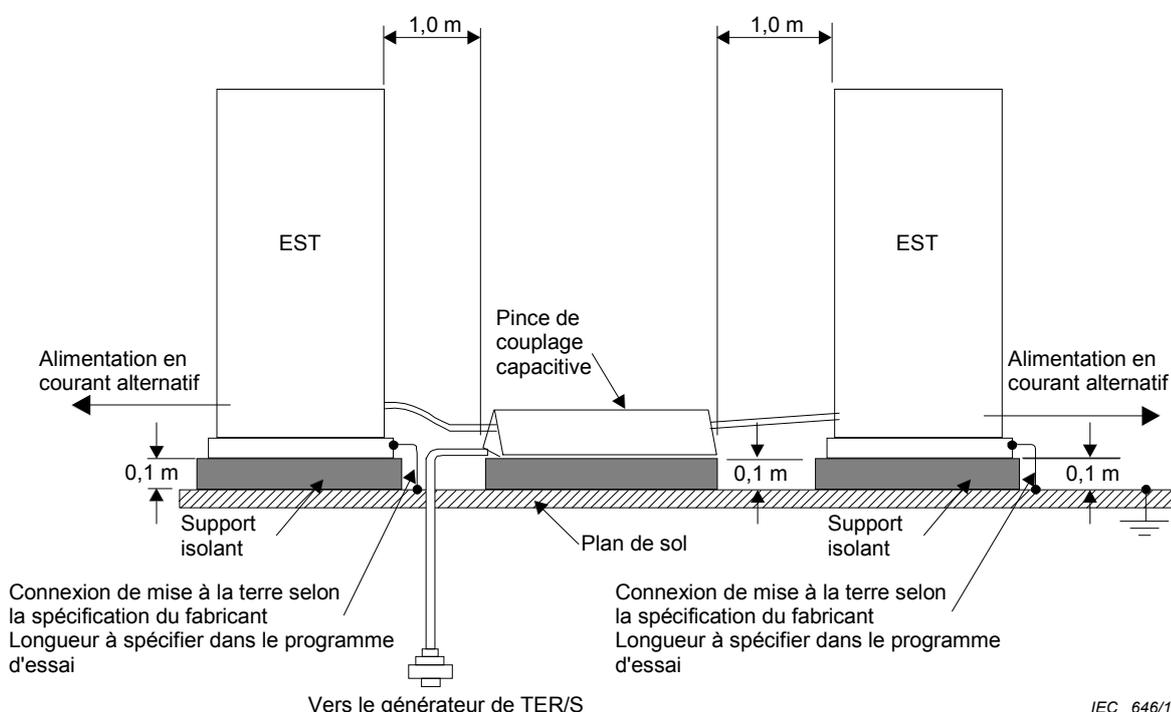
La distance minimale entre l'EST et toutes les autres structures conductrices (incluant le générateur, les EA et les parois d'une cabine blindée), à l'exception du plan de sol, doit être supérieure à 0,5 m.

Tous les câbles de l'EST doivent être disposés sur le support isolant, à 0,1 m au-dessus du plan de sol. Les câbles non soumis aux transitoires électriques rapides doivent être routés le plus loin possible du câble en essai afin de minimiser le couplage entre les câbles.

L'EST doit être relié au circuit de mise à la terre suivant les spécifications d'installation du fabricant; aucun raccordement supplémentaire à la terre n'est autorisé.

L'impédance de connexion des conducteurs de terre du réseau de couplage/découplage au plan de sol, ainsi que toutes les liaisons, doivent avoir une inductance minimale.

Soit un réseau de couplage direct soit une pince capacitive doivent être utilisés pour l'application des tensions d'essai. Celles-ci doivent être couplées à leur tour à tous les accès de l'EST, y compris ceux qui se trouvent entre deux unités du matériel impliqué dans l'essai, à moins que la longueur du câble d'interconnexion rende l'essai impossible (voir Figure 12).



Il convient qu'un matériel fourni sans câbles soit soumis aux essais conformément aux instructions de fonctionnement/d'installation ou suivant le scénario du cas le plus défavorable.

NOTE La longueur de câble à soumettre aux essais est habituellement spécifiée par les comités de produit.

Figure 12 – Exemple de montage d'essai utilisant un système de deux EST posés au sol

Le matériel comportant des entrées de câble par le haut doit être monté conformément à la Figure 13.

Des réseaux de découplage ou des dispositifs du type pince absorbante en mode commun doivent être utilisés pour protéger les équipements auxiliaires et les réseaux publics.

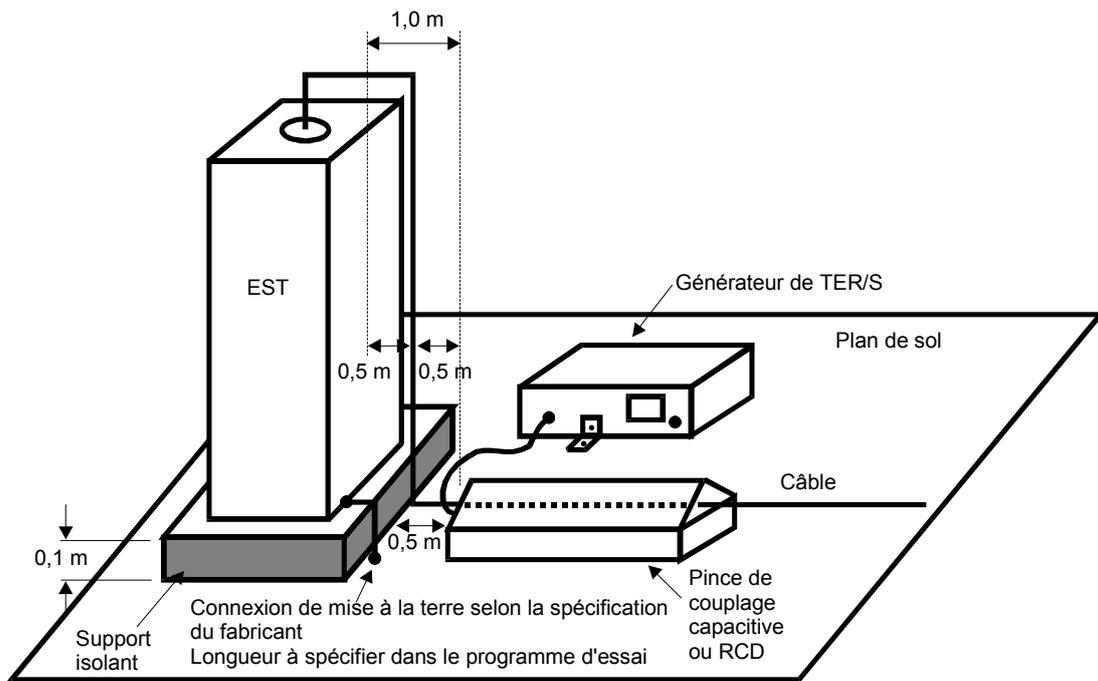
Lors de l'utilisation de la pince de couplage, la distance minimale entre les plaques de couplage et toutes les autres structures conductrices (y compris le générateur), à l'exception du plan de sol situé sous la pince de couplage et sous l'EST, doit être d'au moins 0,5 m.

La distance entre tout dispositif de couplage et l'EST doit être de (0,5 – 0/+0,1) m pour les essais du matériel sur table et de (1,0 ± 0,1) m pour le matériel posé au sol, sauf indication contraire dans des normes de produit. Lorsqu'il n'est physiquement pas possible de respecter les distances mentionnées ci-dessus, d'autres distances peuvent être utilisées et doivent être consignées dans le rapport d'essai.

Le câble entre l'EST et le dispositif de couplage, si amovible, doit être aussi court que possible pour satisfaire aux exigences de cet article. Si le fabricant fournit un câble dépassant la distance entre le dispositif de couplage et le point d'entrée de l'EST, la longueur en excès de ce câble doit être lovée et placée à une distance de 0,1 m au-dessus du plan de sol. Si une pince capacitive est utilisée comme dispositif de couplage, la longueur de câble en excès doit être lovée du côté de l'EA.

Les parties de l'EST comportant des câbles d'interconnexion ayant une longueur inférieure à 3 m, qui ne sont pas soumis aux essais, doivent être placées sur le support isolant. Les parties de l'EST doivent être espacées de 0,5 m. La longueur de câble en excès doit être lovée.

Les Figures 11 à 14 donnent des exemples du montage d'essai pour des essais en laboratoire.



IEC 647/12

Figure 13 – Exemple de montage d'essai pour un matériel comportant des entrées de câble par le haut

7.3.2 Méthodes de couplage de la tension d'essai à l'EST

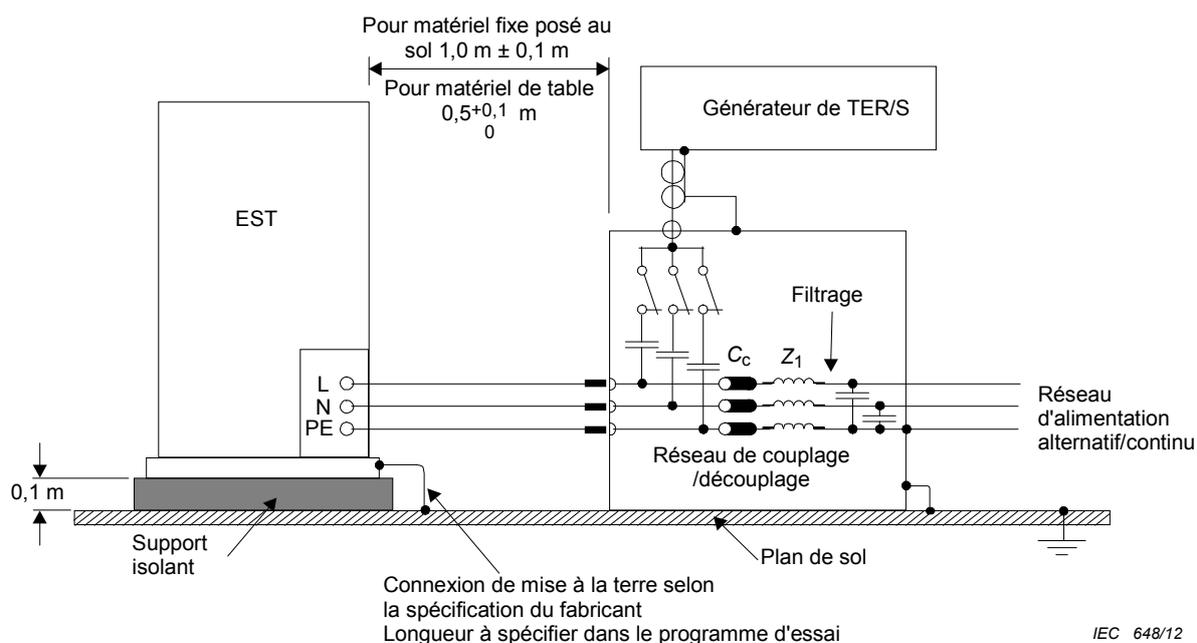
7.3.2.1 Généralités

La méthode du couplage de la tension d'essai à l'EST dépend du type d'accès de ce dernier (comme indiqué ci-dessous).

7.3.2.2 Accès alimentation

Un exemple de montage d'essai pour le couplage direct de la tension perturbatrice de TER/S via un réseau de couplage/découplage est donné à la Figure 14. C'est la méthode préférentielle de couplage aux accès alimentation.

Pour le matériel ayant un accès alimentation sans borne de terre, la tension d'essai n'est appliquée qu'aux seules lignes L et N.



Composants

PE	terre de protection
N	neutre
L	phase
Z_1	inductance de découplage
C_c	condensateur de couplage

Figure 14 – Exemple de montage d'essai pour le couplage direct de la tension d'essai aux accès alimentation en courant alternatif ou en courant continu destiné aux essais de type en laboratoire

Si aucun réseau de couplage/découplage approprié n'est disponible, par exemple pour des courants alternatifs >100 A, d'autres méthodes peuvent être employées comme suit:

- en cas de mode commun et de mode asymétrique, l'injection directe utilisant des condensateurs de $(33 \pm 6,6)$ nF est le procédé de couplage préférentiel;
- si l'injection directe n'est pas possible, la pince capacitive est utilisée.

7.3.2.3 Accès signal et commande

Les exemples donnés aux Figures 11 et 12 montrent comment utiliser la pince de couplage capacitive pour appliquer la tension d'essai perturbatrice aux accès signal et commande. Le câble doit être placé au centre de la pince de couplage. Le matériel non soumis à l'essai ou le matériel auxiliaire peut être découplé de manière appropriée.

7.3.2.4 Borne de terre

Le point d'essai sur l'enveloppe métallique d'un matériel ayant un accès alimentation avec borne de terre doit être la borne du conducteur de terre de protection.

S'il n'est pas possible d'utiliser un RCD, la tension d'essai doit être appliquée à la connexion de terre de protection (PE) par un condensateur de couplage de $(33 \pm 6,6)$ nF.

7.4 Montage d'essai pour essais in situ

7.4.1 Vue d'ensemble

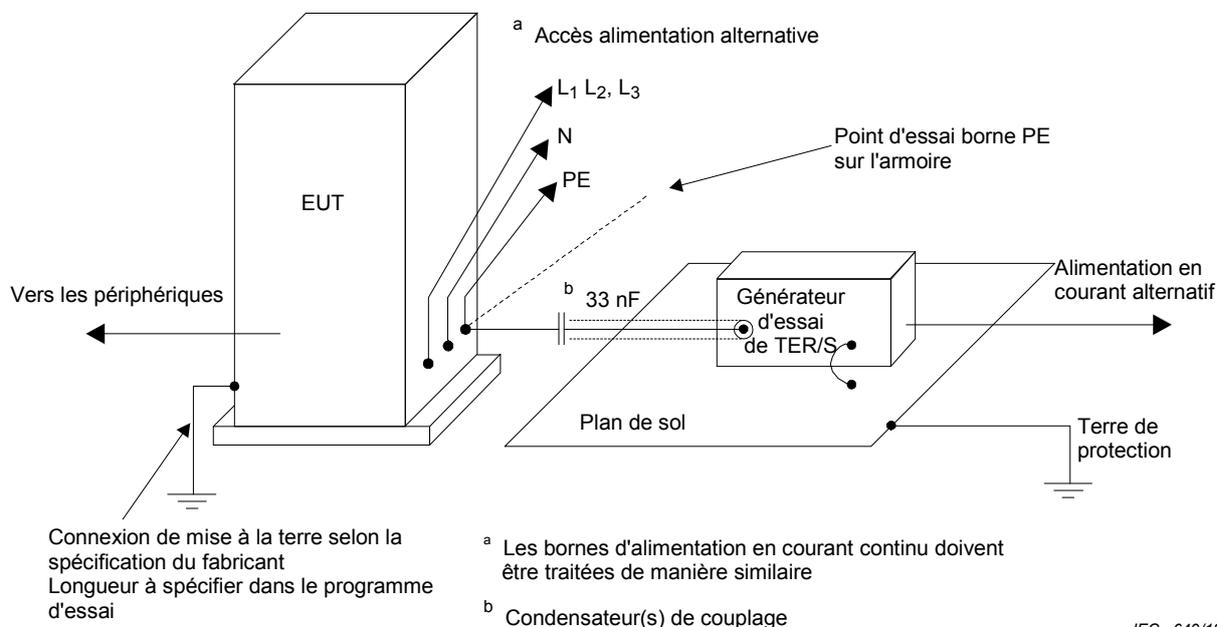
Les essais in situ peuvent être appliqués uniquement après entente entre le fabricant et le client. On doit considérer que l'essai lui-même peut être destructif pour l'EST et que d'autres matériels situés à proximité peuvent être endommagés ou autrement affectés de façon inacceptable.

L'équipement ou le système doit être soumis aux essais dans les conditions finales d'installation. Les essais in situ doivent être effectués sans réseau de couplage/découplage afin de simuler d'une façon aussi réaliste que possible l'environnement électromagnétique réel.

Si des matériels ou des systèmes autres que l'EST sont indûment affectés pendant l'essai, des réseaux de découplage doivent être utilisés après accord entre l'utilisateur et le fabricant.

7.4.2 Essai sur les accès alimentation et sur les bornes de terre de protection

La tension d'essai doit être appliquée simultanément entre un plan de sol et les bornes de l'alimentation, alternative ou continue, et la borne de terre de protection ou la borne de terre fonctionnelle sur l'armoire de l'EST (voir Figure 15).



IEC 649/12

Composants

PE	terre de protection
N	neutre
L ₁ , L ₂ , L ₃	phases

Figure 15 – Exemple d'essai in situ sur les accès d'alimentation en courant alternatif ou en courant continu sur les bornes de terre de protection pour des EST fixes montés au sol

Un plan de sol, comme décrit en 7.3.1, doit être monté à proximité de l'EST et connecté au conducteur de terre de protection du réseau d'alimentation.

Le générateur de TER/S doit être situé sur le plan de sol et être connecté au(x) condensateur(s) de couplage par un câble coaxial. Le blindage du câble coaxial ne doit pas être relié à l'extrémité du condensateur. La longueur de la connexion, allant du condensateur de couplage aux accès sur l'EST, doit être aussi faible que possible. Cette connexion doit être non blindée, mais bien isolée. Les condensateurs de couplage doivent avoir une valeur de $(33 \pm 6,6)$ nF. Il convient que toutes les autres connexions de l'EST soient réalisées selon ses exigences de fonctionnement.

7.4.3 Essai sur les accès signal et commande

La pince de couplage capacitive est la méthode préférentielle pour le couplage de la tension d'essai aux accès signal et de commande. Le câble doit être placé au centre de la pince de couplage. Si l'on ne peut pas utiliser la pince pour des raisons mécaniques dans le câblage (par exemple, dimensions, cheminement des câbles), elle doit être remplacée par une bande conductrice ou une feuille métallique enveloppant les câbles en essai.

Une autre méthode consiste à coupler le générateur de TER/S aux bornes des lignes par l'intermédiaire de condensateurs discrets de (100 ± 20) pF, à la place de la capacité répartie de la pince ou du montage utilisant une bande ou une feuille métallique.

La mise à la terre du câble coaxial du générateur d'essai doit être faite à proximité du point de couplage. L'application de la tension d'essai aux connecteurs (fils chauds) des lignes coaxiales ou blindées n'est pas permise.

Il convient d'appliquer la tension d'essai de manière à ce que la protection apportée par le blindage de l'équipement ne soit pas réduite (voir la Figure 16 pour la configuration de l'essai).

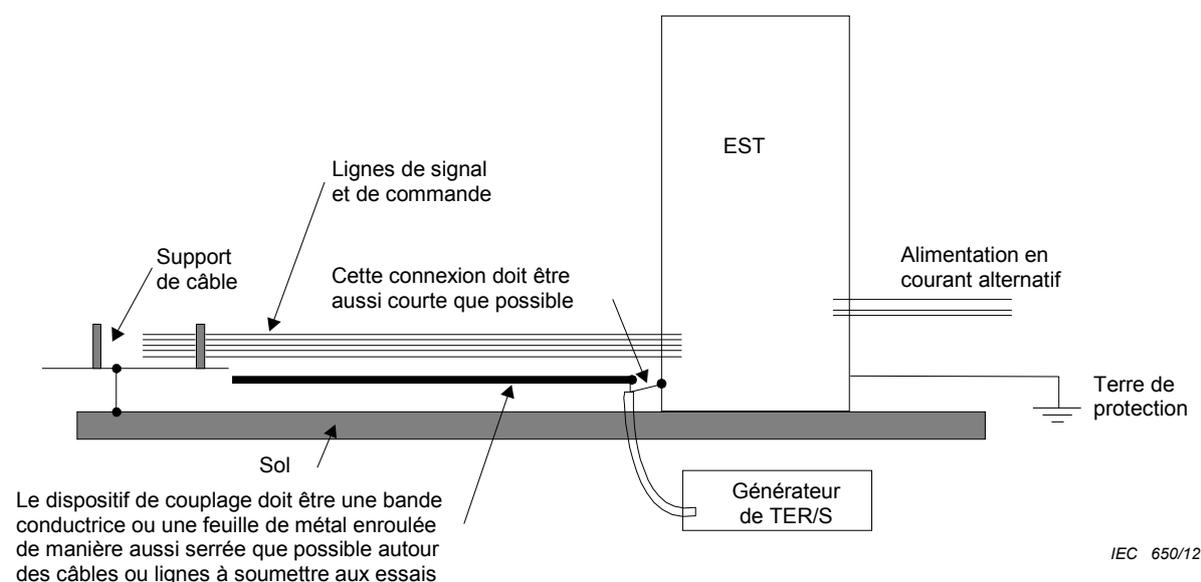


Figure 16 – Exemple d'essais in situ sur les accès signal et commande sans la pince de couplage capacitive

Les résultats d'essai obtenus avec le mode de couplage par condensateurs discrets ont des chances d'être différents de ceux obtenus avec la pince de couplage ou avec le couplage par

feuille. De ce fait, les niveaux d'essai spécifiés à l'Article 5 pourront être modifiés par un comité de produit dans une norme de produit afin de prendre en compte les caractéristiques significatives de l'installation.

Pour les essais in situ, il peut être convenu entre fabricant et utilisateur que des câbles externes puissent être soumis aux essais en faisant cheminer simultanément tous les câbles dans la pince de couplage.

8 Procédure d'essai

8.1 Généralités

La procédure d'essai comprend:

- la vérification de l'instrumentation d'essai conformément au 7.2.2;
- la vérification des conditions de référence du laboratoire;
- la vérification du bon fonctionnement de l'EST;
- l'exécution de l'essai;
- l'évaluation des résultats d'essai (voir l'Article 9).

8.2 Conditions de référence en laboratoire

8.2.1 Conditions climatiques

Sauf spécification contraire par le Comité responsable d'une norme générique ou d'une norme de produit, les conditions climatiques dans le laboratoire doivent être dans les limites spécifiées pour le fonctionnement de l'EST et des matériels d'essai par leurs fabricants respectifs.

Les essais ne doivent pas être réalisés si l'humidité relative est telle qu'elle cause une condensation sur l'EST ou sur les matériels d'essai.

8.2.2 Conditions électromagnétiques

Les conditions électromagnétiques du laboratoire doivent être telles qu'elles garantissent le fonctionnement correct de l'EST afin de ne pas avoir d'influence sur les résultats d'essai.

8.3 Exécution de l'essai

L'essai doit être effectué sur la base d'un programme d'essai qui doit comprendre la vérification du comportement de l'EST tel qu'il est défini dans la spécification technique.

L'EST doit fonctionner dans des conditions normales de fonctionnement.

Le programme d'essai doit spécifier:

- le type d'essai (laboratoire ou in situ);
- le niveau d'essai;
- le mode de couplage (mode commun et mode asymétrique dans le cas des essais in situ ou d'indisponibilité d'un RCD);
- la polarité de la tension d'essai (les deux polarités sont obligatoires);
- la durée de l'essai par accès (ne doit pas être inférieure au temps nécessaire à l'EST pour être sollicité et pour répondre; elle ne doit en aucun cas être inférieure à 1 min); les Comités de produits peuvent choisir d'autres durées d'essai;
- la fréquence de répétition;

- les accès de l'EST devant être soumis à l'essai;
- les conditions de fonctionnement représentatives de l'EST;
- la séquence d'application de la tension d'essai aux accès de l'EST;
- le matériel auxiliaire (EA).

9 Evaluation des résultats d'essai

Les résultats d'essai doivent être classés en tenant compte de la perte de fonction ou de la dégradation du fonctionnement du matériel soumis à l'essai, par rapport à un niveau de fonctionnement défini par son fabricant ou par le demandeur de l'essai, ou en accord entre le fabricant et l'acheteur du produit. La classification recommandée est la suivante:

- a) fonctionnement normal dans les limites spécifiées par le fabricant, le demandeur de l'essai ou l'acheteur;
- b) perte temporaire de fonction ou dégradation temporaire du fonctionnement cessant après la disparition de la perturbation; le matériel soumis à l'essai retrouve alors son fonctionnement normal sans l'intervention d'un opérateur;
- c) perte temporaire de fonction ou dégradation temporaire du fonctionnement nécessitant l'intervention d'un opérateur;
- d) perte de fonction ou dégradation du fonctionnement non récupérable due à une avarie du matériel ou du logiciel ou à une perte de données.

La spécification du fabricant peut définir des effets sur l'EST pouvant être considérés comme non significatifs et donc acceptables.

Cette classification peut être utilisée comme un guide pour l'élaboration des critères d'aptitude à la fonction, par les comités responsables des normes génériques, de produit ou de famille de produits, ou comme un cadre pour l'accord sur les critères d'aptitude à la fonction entre le fabricant et l'acheteur, par exemple lorsqu'aucune norme générique, de produit ou de famille de produits appropriée n'existe.

10 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir toutes les informations nécessaires pour reproduire l'essai. Il doit notamment comporter les éléments suivants:

- les points spécifiés dans le plan d'essai requis à l'Article 8 de la présente Norme;
- l'identification de l'EST et de tous les matériels associés, par exemple marque, type, numéro de série;
- l'identification des matériels d'essai, par exemple marque, type, numéro de série;
- toutes les conditions d'environnement spéciales dans lesquelles l'essai a été réalisé, par exemple l'enceinte blindée;
- toutes les conditions spécifiques nécessaires pour permettre la réalisation de l'essai;
- le schéma et/ou les illustrations de l'installation d'essai et du montage de l'EST;
- le niveau de fonctionnement défini par le fabricant, le demandeur de l'essai ou l'acheteur;
- le critère d'aptitude à la fonction spécifié dans la norme générique, de produit ou de famille de produits;
- tous les effets observés sur l'EST pendant ou après l'application de la perturbation, et la durée pendant laquelle ces effets ont persisté;
- tous les types de câbles, y compris leur longueur, et les accès/interfaces de l'EST auxquels ils ont été raccordés;

- la justification de la décision succès/échec (basée sur le critère d'aptitude à la fonction spécifié dans la norme générique, de produit ou de famille de produits, ou dans l'accord entre le fabricant et l'acheteur);
- toutes les conditions spécifiques d'utilisation, par exemple longueur ou type de câbles, blindage ou raccordement à la terre, ou les conditions de fonctionnement de l'EST, qui sont requises pour assurer la conformité.

Annexe A (informative)

Informations sur les transitoires électriques rapides

A.1 Généralités

La salve de transitoires électriques rapides (TER/S) est générée par la commutation de charges inductives. L'appellation communément donnée au transitoire de commutation est transitoire rapide et il peut être décrit en termes de:

- durée de la salve (qui est d'une manière prédominante déterminée par l'énergie emmagasinée dans l'inductance avant la commutation);
- fréquence de répétition des transitoires particuliers;
- amplitude variable des transitoires composant une salve, déterminée principalement par les caractéristiques mécaniques et électriques du contact de commutation (vitesse des contacts au cours de l'opération d'ouverture, capacité de tenue en tension des contacts en position ouverte).

Généralement, le TER/S n'a pas de paramètres uniques dépendant des caractéristiques du contact de commutation ou de la charge commutée.

A.2 Amplitude de l'impulsion

Le niveau des impulsions mesurées sur les conducteurs d'une ligne peut avoir la même valeur que la connexion galvanique de cette ligne avec le contact de commutation. Dans le cas de l'alimentation et de certains circuits de commande, cela peut aussi être vrai à proximité (distance de l'ordre de 1 m) des contacts. Dans ce cas, la perturbation est transférée par induction (par exemple capacitive). L'amplitude est une fraction du niveau mesuré aux contacts.

A.3 Temps de montée

Il convient de noter que lorsque la distance à la source augmente, la forme d'onde est modifiée du fait des pertes de propagation, de la dispersion, et des réflexions dues aux distorsions causées par les charges connectées. Le temps de montée de 5 ns considéré pour les spécifications du générateur d'essai est un compromis prenant en compte l'effet d'atténuation des composantes hautes fréquences de la propagation de l'impulsion.

Un temps de montée plus court, par exemple 1 ns, donnerait des résultats d'essais plus contraignants, et sa pertinence se rapporte principalement aux matériels ayant des connexions courtes sur le terrain en référence à la source de TER/S.

NOTE Le temps de montée du TER à la source, pour une gamme de tensions allant de 500 V à 4 kV ou plus, est très proche du temps de montée d'une décharge électrostatique (dans l'air), le mécanisme de décharge étant le même.

A.4 Durée de l'impulsion

La durée réelle diffère significativement de celle spécifiée dans toutes les éditions de la présente norme. La durée spécifiée ici est cohérente avec la durée des impulsions mesurées en tant que tensions induites dans les circuits victimes du fait de la moindre pertinence des composantes basses fréquences des impulsions.

A.5 Fréquence de répétition des impulsions

La fréquence de répétition dépend de nombreux paramètres. Par exemple:

- la constante de temps du circuit de charge (résistance, inductance et capacité distribuée de la charge inductive commutée);
- la constante de temps du circuit de commutation, incluant l'impédance de la ligne connectant cette charge au contact de commutation;
- la vitesse du contact au cours de l'action d'ouverture;
- la tension de tenue du contact de commutation.

La fréquence de répétition est donc variable et une gamme d'une décade ou plus est tout à fait courante.

NOTE En pratique, les fréquences de répétition de 5 kHz et de 100 kHz sont choisies pour les essais comme étant des fréquences de répétition de compromis en raison du besoin d'inclure en un essai la gamme des paramètres les plus significatifs des TER/S.

A.6 Nombre d'impulsions par salve et durée des salves

Ce ou ces paramètres dépendent de l'énergie emmagasinée par la charge inductive commutée ainsi que de la tension de tenue du contact de commutation.

Le nombre d'impulsions par salve est directement lié à la fréquence de répétition des impulsions et à la durée des salves. A partir de résultats mesurés, la plupart des durées de salves sont très proches de 2 ms, à l'exception du relais à contact de mercure dont l'utilisation n'est pas aussi courante que celle des autres types dont il est question ici.

NOTE La durée de 0,75 ms a été choisie comme temps de référence pour l'essai à 100 kHz. En conséquence, 75 est le nombre résultant d'impulsions par salve. Lorsque l'on fait les essais à 5 kHz, la durée des salves est de 15 ms.

Annexe B (informative)

Sélection des niveaux d'essai

Il convient de choisir les niveaux d'essai conformément aux conditions d'environnement et d'installation les plus réalistes. Ces niveaux sont indiqués à l'Article 5 de la présente norme.

Les essais d'immunité sont corrélés avec ces niveaux afin d'établir un niveau de fonctionnement pour l'environnement dans lequel il est prévu que les matériels fonctionnent.

Pour les essais des accès signal et commande, on utilisera des valeurs de tension d'essai égales à la moitié de celles appliquées sur les accès alimentation.

La recommandation concernant la sélection des niveaux des essais TER/S conformément aux exigences de l'environnement électromagnétique, fondée sur l'observation des pratiques courantes en matière d'installation, est la suivante:

a) Niveau 1: Environnement bien protégé

L'installation est caractérisée de la manière suivante:

- suppression de tous les TER/S dans les circuits d'alimentation et de commande commutés;
- séparation insuffisante entre les lignes d'alimentation (en courant alternatif et courant continu) et les circuits de commande et de mesure provenant d'autres environnements appartenant à des niveaux de sévérité plus élevés;
- câbles d'alimentation blindés avec écrans mis à la terre aux deux extrémités à la terre de référence de l'installation et protection de l'alimentation par filtrage.

Une salle d'ordinateurs peut représenter cet environnement.

L'application de ce niveau pour l'essai de l'équipement se limite aux circuits d'alimentation pour les essais de type, et particulièrement aux circuits de mise à la terre et aux armoires d'équipements pour les essais in situ.

b) Niveau 2: Environnement protégé

L'installation est caractérisée de la manière suivante:

- suppression partielle des TER/S dans les circuits d'alimentation et de commande qui ne sont commutés que par des relais (pas de contacteurs);
- séparation insuffisante entre tous les circuits appartenant à cet environnement protégé et les autres circuits provenant d'environnements ayant des niveaux de sévérité plus élevés;
- séparation physique entre les câbles d'alimentation et de commande non blindés et les câbles de signal et de communication.

La salle de commande ou la salle des terminaux des installations industrielles et électriques peut représenter cet environnement.

c) Niveau 3: Environnement industriel typique

L'installation est caractérisée de la manière suivante:

- pas de suppression des TER/S dans les circuits d'alimentation et de commande qui ne sont commutés que par des relais (pas de contacteurs);

- séparation insuffisante entre les circuits appartenant à l'environnement industriel et les circuits relevant de niveaux de sévérité plus élevés;
- câbles spécialisés pour l'alimentation, la commande, les lignes de signal et de communication;
- séparation insuffisante entre les câbles d'alimentation, de commande, de signal et de communication;
- disponibilité d'un système de mise à la terre comportant des tuyaux conducteurs, des conducteurs de terre dans les chemins de câbles (connectés à la terre de protection) et un réseau de terre maillé.

Les zones des équipements de processus industriels peuvent représenter cet environnement.

d) Niveau 4: Environnement industriel sévère

L'installation est caractérisée de la manière suivante:

- pas de suppression des TER/S dans les circuits d'alimentation et de commande et les circuits de puissance qui sont commutés par des relais et par des contacteurs;
- pas de séparation entre les circuits appartenant à l'environnement industriel sévère et les autres circuits appartenant à un environnement de niveaux de sévérité plus élevés;
- pas de séparation entre les câbles d'alimentation, de commande, de signal et de communication;
- utilisation de câbles multiconducteurs communs aux lignes de commande et de signal.

Les zones extérieures des équipements de processus industriels pour lesquelles aucune pratique d'installation particulière n'a été adoptée, les centrales électriques, les salles de relayage des postes ouverts HT et des postes blindés dont la tension de fonctionnement peut atteindre 500 kV (avec des pratiques d'installation spécifiques), peuvent représenter cet environnement.

e) Niveau X: Situations particulières à analyser

La bonne ou la mauvaise séparation électromagnétique des sources de perturbation des circuits, câbles, lignes des matériels, etc., et la qualité des installations peuvent conduire à choisir un niveau d'environnement plus élevé ou plus faible que ceux qui ont été décrits plus haut. Il convient de noter que certaines lignes issues d'un environnement d'un niveau de sévérité plus élevé peuvent être introduites dans un environnement de sévérité moindre.

Annexe C (informative)

Considérations relatives aux incertitudes de mesure (IM)

C.1 Généralités

La reproductibilité des essais de CEM dépend de nombreux facteurs ou influences affectant les résultats de l'essai. Ces influences peuvent être classées par catégories dont les effets sont aléatoires ou systématiques. La conformité de la grandeur de la perturbation réalisée avec la grandeur de la perturbation spécifiée par la présente norme est habituellement confirmée par une série de mesures (par exemple, mesure du temps de montée d'une impulsion avec un oscilloscope en utilisant des atténuateurs). Le résultat de chaque mesure comporte une certaine valeur d'incertitude de mesure (IM) due à l'imperfection de l'instrumentation de mesure et au manque de répétabilité du mesurande lui-même.

L'évaluation de l'IM implique les opérations suivantes:

- a) identifier les sources d'incertitude liées aussi bien à l'instrumentation de mesure qu'au mesurande,
- b) identifier la relation fonctionnelle (modèle de mesure) entre les quantités d'influence (entrée) et la quantité mesurée (sortie),
- c) obtenir une estimation et une incertitude standard des quantités en entrée,
- d) obtenir, avec un niveau de confiance élevé, une estimation de l'intervalle contenant la valeur vraie du mesurande.

Lors des essais d'immunité, les estimations et les incertitudes sont évaluées pour les paramètres de la grandeur de perturbation (par exemple, temps de montée, largeur de crête et d'impulsion). En tant que telles, elles décrivent le degré de concordance entre la grandeur de perturbation et les spécifications correspondantes de la présente norme fondamentale.

Ces estimations et incertitudes, dérivées pour une grandeur de perturbation particulière, ne décrivent pas le degré de concordance entre le phénomène électromagnétique simulé, tel que défini dans la norme fondamentale, et le phénomène électromagnétique réel du monde extérieur au laboratoire.

Puisque l'effet des paramètres de la grandeur de perturbation sur l'EST est a priori inconnu et dans la plupart des cas l'EST montre un comportement non linéaire, une valeur unique de l'estimation et de l'incertitude ne peut pas être définie pour la grandeur de perturbation. Par conséquent, chacun des paramètres de la grandeur de perturbation sera accompagné de l'estimation et de l'incertitude correspondantes. Ceci conduit à plusieurs bilans d'incertitude.

La présente annexe est consacrée à l'incertitude d'étalonnage pour les laboratoires d'étalonnage et les laboratoires d'essai qui effectuent leur propre étalonnage.

C.2 Éléments contribuant à l'incertitude des TER/S

Des incertitudes peuvent également être spécifiées pour les paramètres de la grandeur de perturbation. En tant que telles, elles décrivent le degré de concordance entre l'instrumentation spécifiée et les spécifications de la présente norme fondamentale.

La liste suivante indique les éléments contribuant à l'incertitude utilisés pour évaluer l'instrumentation de mesure et l'influence de l'installation d'essai:

- lecture de la valeur de crête;

- lecture du niveau à 10 %;
- lecture du niveau à 90 %;
- lecture du niveau à 50 %;
- rapport d'atténuation;
- adaptation chaîne-oscilloscope;
- chaîne charge-atténuateur-câble;
- contribution aux mesures horizontales à l'oscilloscope;
- contribution aux mesures verticales à l'oscilloscope;
- répétabilité du système de mesure (type A);
- variation de l'installation d'essai (type A);
- étalonnage de l'oscilloscope, de l'atténuateur.

On doit reconnaître que les contributions s'appliquant à l'étalonnage et aux essais peuvent ne pas être identiques. Ceci conduit à différents bilans d'incertitude pour chaque processus.

C.3 Incertitude de l'étalonnage

C.3.1 Généralités

Il est nécessaire de produire des bilans d'incertitude indépendants pour chaque élément d'étalonnage; c'est-à-dire V_p , t_r , t_w . Lors d'un essai avec les TER/S, la grandeur de perturbation est l'énergie et le spectre des impulsions provenant du générateur de TER appliqué à l'EST. Comme décrit à l'Article C.1, il convient de calculer un bilan d'incertitude indépendant pour chacun de ces paramètres.

L'approche générale pour le calcul de l'IM de l'impulsion est décrite ci-après. Les Tableaux C.1 à C.3 donnent des exemples de bilans d'incertitude calculés pour ces paramètres. Les tableaux incluent les éléments contribuant au bilan d'incertitude considérés comme étant les plus significatifs pour ces exemples, ainsi que les détails (valeurs numériques, type de distribution, etc.) de chaque élément et les résultats des calculs requis pour déterminer chaque bilan d'incertitude.

C.3.2 Temps de montée de la tension des TER/S

Le mesurande est le temps de montée de la tension des TER/S sur une charge de 50 Ω calculé à l'aide de la relation fonctionnelle

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

où

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

et

$T_{10\%}$	est le temps à 10 % d'amplitude crête;
$T_{90\%}$	est le temps à 90 % d'amplitude crête;
δR	est la correction pour non répétabilité;
T_{MS}	est le temps de montée de la réponse transitoire du système de mesure (10 % à 90 %);

- B est la bande passante à -3 dB du système de mesure;
 α est le coefficient ayant une valeur de 360 ± 40 (B en MHz et T_{MS} en ns).

Tableau C.1 – Exemple de bilan d'incertitude relatif au temps de montée de la tension (t_r)

Symbole	Estimation	Unité	Borne d'erreur	Unité	PDF ^a	Diviseur	$u(x_i)$	c_i	Unité	$u_i(y)$	Unité
$T_{10\%}$	0,85	ns	0,10	ns	triangulaire	2,45	0,041	-1,02	1	0,041	ns
$T_{90\%}$	6,1	ns	0,10	ns	triangulaire	2,45	0,041	1,02	1	0,041	ns
δR	0	ns	0,15	ns	normale ($k = 1$)	1,00	0,150	1,02	1	0,152	ns
A	360	ns·MHz	40	ns·MHz	rectangulaire	1,73	23,09	$-44 \cdot 10^{-5}$	1/MHz	0,010	ns
B	400	MHz	30	MHz	rectangulaire	1,73	17,32	$39 \cdot 10^{-5}$	ns/MHz	$6,78 \cdot 10^{-3}$	ns
^a Fonction densité de probabilité							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0,16	ns
							$U(y) = 2 u_c(y)$			0,33	ns
							Y			5,33	ns
							Exprimé en % de 5,33 ns			6,2	%

$T_{10\%}$, $T_{90\%}$: est la lecture du temps à 10 % ou 90 % d'amplitude crête. L'erreur limite est obtenue en supposant une fréquence d'échantillonnage de 5 GS/s et l'interpolation possible de la trace de l'oscilloscope (fonction densité de probabilité triangulaire). Si tel n'était pas le cas, il conviendrait de supposer une fonction densité de probabilité rectangulaire. Seul l'élément contribuant à l'IM du fait de la fréquence d'échantillonnage est considéré ici; pour d'autres éléments contributeurs, voir C.3.5. Les lectures sont supposées être $T_{10\%} = 0,85$ ns et $T_{90\%} = 6,1$ ns.

T_{MS} : est le temps de montée calculé de la réponse transitoire du système de mesure. Le coefficient α dépend de la forme de la réponse impulsionnelle du système de mesure. La plage 360 ± 40 est représentative d'une large classe de systèmes, chacun ayant une forme différente de réponse impulsionnelle (voir C.3.6 et le Tableau C.4). La bande passante B du système de mesure peut être obtenue de manière expérimentale (mesure directe de la bande passante) ou calculée à partir de la bande passante B_i de chaque élément du système de mesure (essentiellement une sonde de tension, un câble et un oscilloscope) à l'aide de la formule suivante:

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

Une estimation de 400 MHz et une borne d'erreur de 30 MHz d'une fonction de densité de probabilité rectangulaire sont supposées pour B .

δR : est la non répétabilité du temps de montée comprise entre 10 % et 90 %. Cette valeur quantifie le manque de répétabilité de la mesure de $T_{90\%} - T_{10\%}$ du fait de l'instrumentation de mesure, de la configuration du montage de mesure et du générateur TER/S lui-même. Elle est déterminée expérimentalement. Il s'agit d'une évaluation de type A basée sur la formule de l'écart-type expérimental $s(q_k)$ d'un échantillon de n mesures répétées q_j et donnée par

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

où \bar{q} est la moyenne arithmétique des valeurs q_j . On suppose une borne d'erreur $s(q_k) = 150$ ps (écart-type 1 d'une fonction densité de probabilité normale) et une estimation de 0 ns.

Pour la tension à travers une charge de 1 kΩ, le bilan peut être obtenu de manière similaire. Dans ce cas, la bande passante du système de mesure avec le transducteur 1 kΩ est utilisée à la place de celle du transducteur 50 Ω.

C.3.3 Tension de crête des TER/S

Le mesurande est la tension de crête des TER/S à travers une charge de 50 Ω. Il est calculé à l'aide de la relation fonctionnelle

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

où

- V_{PR} est la lecture de tension de crête;
- A est l'atténuation en courant continu de la sonde de tension;
- δR est la correction pour non répétabilité (relative);
- δV est la précision verticale en courant continu de l'oscilloscope (relative);
- B est la bande passante à -3 dB du système de mesure;
- β est le coefficient ayant une valeur $(7,0 \pm 0,8)$ MHz.

Tableau C.2 – Exemple de bilan d'incertitude relatif à la valeur de tension crête (V_P) des TER/S

Symbole	Estimation	Unité	Borne d'erreur	Unité	PDF ^a	Diviseur	$u(x_i)$	c_i	Unité	$u_i(y)$	Unité
V_{PR}	3,75	V	0,007 3	V	triangulaire	2,45	0,003 0	1 000	1	2,99	V
A	1 000	1	50	1	rectangulaire	1,73	28,9	3,75	V	108	V
δR	0	1	0,03	1	normale ($k = 1$)	1,00	0,030	3751	V	112,5	V
δV	0	1	0,02	1	rectangulaire	1,73	0,012	3751	V	43,3	V
β	7,0	MHz	0,8	MHz	rectangulaire	1,73	0,462	0,328	V/MHz	0,152	V
B	400	MHz	30	MHz	rectangulaire	1,73	17,32	-0,005 8	V/MHz	0,099 5	V
^a Fonction densité de probabilité							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0,162	kV
							$U(y) = 2 u_c(y)$			0,32	kV
							y			3,75	kV
							Exprimé en % de 3,75 kV			8,6	%

V_{PR} : est la lecture de crête de tension. L'erreur limite est obtenue en supposant que la résolution verticale de l'oscilloscope est de 8 bits avec interpolation possible (fonction densité de probabilité triangulaire).

A : est l'atténuation en courant continu de la sonde de tension. Une valeur estimée de 1 000 et une borne d'erreur de 5 % (fonction densité de probabilité rectangulaire) sont supposées.

δR : quantifie la non-répétabilité du montage de mesure, de la configuration et de l'instrumentation. Il s'agit d'une évaluation de type A quantifiée par l'écart-type expérimental d'un échantillon de mesures répétées de la tension crête. Cette valeur est exprimée en termes relatifs et une estimation de 0 % et une erreur limite de 3 % (1 écart-type) sont supposées.

δV : quantifie l'imprécision de mesure d'amplitude de l'oscilloscope en courant continu. Une erreur limite de 2 % d'une fonction densité de probabilité rectangulaire et une estimation de 0 sont supposées.

β : est un coefficient qui dépend de la forme de la réponse impulsionnelle du système de mesure et de la forme d'onde impulsionnelle standard au voisinage de la crête (voir C.3.7). L'intervalle $7,0 \pm 0,8$ est représentatif d'une large classe de systèmes, chacun ayant une forme différente de réponse impulsionnelle.

B : voir C.3.2; même signification et mêmes valeurs pour l'estimation et l'erreur limite.

Pour la tension à travers une charge de 1 k Ω , le bilan peut être obtenu de manière similaire. Dans ce cas, la bande passante du système de mesure avec le transducteur 1 k Ω est utilisée à la place de celle du transducteur 50 Ω .

C.3.4 Largeur d'impulsion de la tension des TER/S

Le mesurande est la largeur d'impulsion de la tension des TER/S à travers une charge de 50 Ω et il est calculé à l'aide de la relation fonctionnelle

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

où

- $T_{50\%,R}$ est le temps à 50 % de l'amplitude crête sur le front montant des TER/S;
- $T_{50\%,F}$ est le temps à 50 % de l'amplitude crête sur le front descendant des TER/S;
- δR est la correction pour non-répétabilité;
- B est la bande passante à -3 dB du système de mesure;
- β est le coefficient ayant une valeur $(7,0 \pm 0,8)$ MHz.

Tableau C.3 – Exemple de bilan d'incertitude relatif à la largeur d'impulsion de la tension (t_w) des TER/S

Symbole	Estimation	Unité	Borne d'erreur	Unité	PDF ^a	Diviseur	$u(x_i)$	c_i	Unité	$u_i(y)$	Unité	
$T_{50\%,R}$	3,5	ns	0,10	ns	triangulaire	2,45	0,041	-1,00	ns	0,040 8	ns	
$T_{50\%,F}$	54,5	ns	0,10	ns	triangulaire	2,45	0,041	1,00	ns	0,040 8	ns	
δR	0	ns	1,5	ns	normale ($k = 1$)	1,00	1,50	1,00	ns	1,50	ns	
β	7,0	MHz	0,8	MHz	rectangulaire	1,73	0,462	-0,004 5	ns/MHz	0,002 1	ns	
B	400	MHz	30	MHz	rectangulaire	1,73	17,32	$8.0 \cdot 10^{-5}$	ns/MHz	0,001 4	ns	
^a Fonction densité de probabilité							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			1,502	ns	
							$U(y) = 2 u_c(y)$				3,00	ns
							Y				51,0	ns
							Exprimé en % de 51,0 ns				5,9	%

$T_{50\%,R}$, $T_{50\%,F}$: est la lecture du temps à 50 % de l'amplitude crête sur le front montant ou descendant de la tension des TER/S. L'erreur limite est obtenue en supposant une fréquence d'échantillonnage de 5 GS/s (identique à C.3.2) et l'interpolation possible de la trace de l'oscilloscope (fonction densité de probabilité triangulaire). Si tel n'est pas le cas, il convient de supposer une fonction densité de probabilité rectangulaire. Seul l'élément contribuant à l'IM du fait de la fréquence d'échantillonnage est considéré ici. Pour les autres contributions, voir C.3.5. Les lectures sont supposées être $T_{50\%,R} = 3,5$ ns et $T_{50\%,F} = 54,5$ ns.

δR : quantifie la non-répétabilité lors de la mesure de différence de temps $T_{50\%,F} - T_{50\%,R}$ du fait de l'instrumentation de mesure, de la configuration du montage de mesure et du générateur TER/S lui-même. Elle est déterminée expérimentalement. Il s'agit d'une évaluation de type A quantifiée par l'écart-type expérimental d'un échantillon de mesures répétées. On suppose une borne d'erreur $s(q_k) = 1,5$ ns (1 écart-type d'une fonction densité de probabilité normale) et une estimation de 0 ns.

β : voir C.3.3; même signification et mêmes valeurs pour l'estimation et l'erreur limite.

B : voir C.3.2; même signification et mêmes valeurs pour l'estimation et l'erreur limite.

Pour la tension à travers une charge de 1 k Ω , le bilan peut être obtenu de manière similaire. Dans ce cas, la bande passante du système de mesure avec le transducteur 1 k Ω est utilisée à la place de celle du transducteur 50 Ω .

C.3.5 Autres contributions de l'IM relatives aux mesures temporelles

Fréquence d'échantillonnage: habituellement, la valeur de cette incertitude est la moitié de l'inverse de la fréquence d'échantillonnage de l'oscilloscope. La distribution peut être supposée triangulaire ($k = 2,45$), si l'interpolation de trace est effectuée de manière à obtenir le temps pour un niveau de trace donné (voir le manuel de l'oscilloscope). Si tel n'est pas le cas, on doit supposer que la distribution est rectangulaire avec $k = 1,73$.

Erreur et erratisme de la base de temps: les spécifications de l'oscilloscope peuvent être considérées comme des incertitudes ayant des distributions rectangulaires. Habituellement, ces contributions sont négligeables.

Résolution verticale: la contribution dépend de la résolution d'amplitude verticale ΔA et de la pente de la trace dA/dt . L'incertitude est liée à la demi-largeur de résolution et s'exprime par $(\Delta A/2)/(dA/dt)$. Si l'interpolation de trace est effectuée (voir le manuel de l'oscilloscope) une distribution triangulaire est utilisée. Sinon on utilise la distribution rectangulaire. Cette contribution est souvent négligeable.

C.3.6 Distorsion du temps de montée due à la bande passante limitée du système de mesure

La distorsion du temps de montée est évaluée à l'aide de la règle habituelle de combinaison des temps de montée qui s'applique lorsque deux systèmes sans interaction sont raccordés en cascade et que leurs réponses transitoires sont croissantes, c'est-à-dire

$$t_{rd} = \sqrt{t_r^2 + T_{MS}^2} \quad (C.1)$$

où

t_{rd} est le temps de montée du signal à la sortie du système de mesure (temps de montée distordu),

t_r est le temps de montée du signal à l'entrée du système de mesure, et

T_{MS} est le temps de montée de la réponse transitoire du système de mesure.

Il est important d'observer que la dérivation de (C.1) repose sur la définition suivante du temps de montée.

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

où

$h_0(t)$ est la réponse impulsionnelle du système de mesure avec une zone normalisée, c'est-à-

dire $\int_0^{\infty} h_0(t) dt = 1$,

et T_s est le temps de retard donné par

$$T_s = \int_0^{\infty} t h_0(t) dt \quad (C.3)$$

La définition (C.2) est beaucoup plus simple à traiter, du point de vue mathématique, que la définition habituelle basée sur les niveaux de seuil de 10 % et 90 %. Néanmoins, dans les applications techniques, les temps de montée de 10 % à 90 % sont généralement combinés à l'aide de l'équation (C.1). Du fait de la bande passante du système, les deux définitions conduisent à des temps de montée comparables. En effet, si on définit

$$\alpha = T_{MS} B \quad (C.4)$$

il apparaît que les valeurs α dérivées des deux définitions de temps de montée ne sont pas très différentes. Les valeurs de α , correspondant aux différentes formes de la réponse impulsionnelle $h(t)$, sont données dans le Tableau C.4. D'après le Tableau C.4, il est évident qu'il n'est pas possible d'identifier une valeur unique de α dans la mesure où α dépend de la définition du temps de montée adoptée (par exemple, en fonction de seuils ou de l'équation (C.2)) et de la forme de la réponse impulsionnelle du système de mesure. Une estimation raisonnable de α peut être obtenue sous forme de moyenne arithmétique entre les valeurs minimales (321×10^{-3}) et maximales (399×10^{-3}) données au Tableau 1, c'est-à-dire 360×10^{-3} . En outre, on peut supposer que si aucune information relative au système de mesure n'est disponible à l'exception de sa bande passante, toute valeur de α comprise entre 321×10^{-3} et 399×10^{-3} est plausible. En d'autres termes, α est supposée être une variable aléatoire ayant une fonction densité de probabilité rectangulaire avec des bornes inférieure et supérieure 321×10^{-3} et 399×10^{-3} , respectivement. L'incertitude standard de α quantifie aussi bien

- a) l'indifférence vis-à-vis du modèle mathématique adopté pour la définition du temps de montée que
- b) l'indifférence vis-à-vis de la forme de la réponse impulsionnelle du système.

Tableau C.4 – Facteur α (équation (C.4)) de différentes réponses impulsionnelles unidirectionnelles correspondant à la même bande passante du système B

Les valeurs de α sont multipliées par 10^3	Gaussien	Ordre I	Ordre II (amortissement critique)	Rectangulaire	Triangulaire
α – avec l'équation (C.2)	332	399	363	321	326
α – 10 % à 90 %	339	350	344	354	353

C.3.7 Distorsion de largeur et de crête d'impulsion due à la bande passante limitée du système de mesure

La forme d'onde d'impulsion distordue $v_{out}(t)$ à la sortie du système de mesure est donnée par l'intégrale de convolution

$$v_{out}(t) = \int_0^t v_{in}(\tau)h(t-\tau)d\tau \tag{C.5}$$

où

$v_{in}(t)$ est la forme d'onde d'impulsion en entrée et

$h(t)$ est la forme d'onde d'impulsion du système de mesure.

Il est à noter que $A \cdot h(t) = h_0(t)$, où A est l'atténuation en courant continu du système de mesure. La forme d'onde en entrée peut être approchée par son développement en série de Taylor autour de l'instant t_p lorsque l'entrée atteint sa valeur crête V_p

$$v_{in}(t) = V_p + \frac{v''_{in}(t_p)}{2}(t-t_p)^2 + \frac{v'''_{in}(t_p)}{6}(t-t_p)^3 + \dots \tag{C.6}$$

Il est à noter que le terme de premier ordre est absent de (C.6) car $v'(t_p) = 0$. En outre, $v''_{in}(t_p) < 0$ car la concavité est orientée vers le bas (maximum) et $v'''_{in}(t_p) > 0$ car, pour les formes d'onde standard qui nous intéressent ici, le temps de montée est inférieur au temps de descente. En exploitant la relation (C.6) dans la formule (C.5) et après simplifications, applicables lorsque la bande passante du système de mesure est importante par rapport à la bande passante du signal d'entrée (de manière à ce que les termes de série d'alimentation dont l'ordre est supérieur à deux soient négligeables), on obtient

$$V_{pd} = \frac{V_p}{A} \left[1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2 \right] \tag{C.7}$$

où

V_{pd} est la crête d'impulsion en sortie,

A est l'atténuation en courant continu du système de mesure et

$$\beta = \alpha \sqrt{\frac{|v''_{in}(t_p)|}{4\pi V_p}} \tag{C.8}$$

Il est à noter que le paramètre β dépend de la dérivée seconde de la forme d'onde d'entrée standard et du paramètre α défini et dérivé en C.3.6. Etant donné que l'expression mathématique de la forme d'onde standard des TER/S est donnée en 6.2.2, la valeur de β peut être calculée numériquement et sa valeur est $(7,0 \pm 0,8)$ MHz.

L'estimation de la distorsion de la largeur d'impulsion en entrée t_w est simplement obtenue en considérant que la zone de l'impulsion en sortie est celle de l'impulsion en entrée divisée par l'atténuation en courant continu A . Par conséquent

$$V_p t_w = A V_{pd} t_{wd} \quad (\text{C.9})$$

où t_{wd} est la largeur d'impulsion en sortie.

D'où

$$t_{wd} = \frac{V_p}{A V_{pd}} t_w = \frac{1}{1 - \left(\frac{\beta}{B}\right)^2} t_w \quad (\text{C.10})$$

C.4 Etalonnage d'un dispositif de couplage

L'étalonnage des paramètres des TER/S à la sortie des dispositifs de couplage/découplage utilise le même matériel (atténuateurs, oscilloscope, etc.), plus quelques adaptateurs pour connecter ce matériel de mesure aux bornes spécifiques du dispositif de couplage/découplage.

NOTE Du fait du très mauvais comportement de ces adaptateurs en haute fréquence, il est très difficile d'effectuer des mesures fiables à haute fréquence sur ceux-ci et donc de déterminer correctement les contributions d'incertitude.

Pour qualifier les adaptateurs, la procédure suivante est recommandée:

- mesures en courant continu de la connexion de terre: elle doit être inférieure à $0,4 \Omega$;
- mesures en courant continu du conducteur intérieur: elle doit être inférieure à $0,4 \Omega$;
- mesures en courant continu entre le conducteur intérieur et la terre. Celles-ci doivent avoir la valeur "infinie"; un isolement suffisant doit être prévu pour supporter les TER/S appliqués (2 kV ou plus);
- caractériser l'influence de ces adaptateurs. A cette fin, établir une référence, en connectant une charge coaxiale de 50Ω à la sortie coaxiale du générateur de TER/S (non à la sortie du réseau de couplage/découplage) et mesurer les paramètres de l'impulsion. Ensuite, insérer les 2 adaptateurs, connectés face à face, entre la sortie du générateur et la charge de 50Ω et mesurer de nouveau les paramètres de l'impulsion. La valeur des paramètres de l'impulsion, avec et sans la paire d'adaptateurs dans la ligne, est estimée sur un nombre suffisant d'impulsions. La différence entre les paramètres mesurés de l'impulsion (représentant les pertes d'insertion des adaptateurs pouvant être compensées) est somme toute une mesure de l'incertitude supplémentaire apportée par les adaptateurs. Les valeurs estimées sont de 4 % pour des amplitudes de tension, de 60 ps pour le temps de montée et de 4 ns pour la durée d'impulsion;
- finalement, considérer l'incertitude de l'adaptateur de salves comme étant égale à la différence observée la plus défavorable (en supposant une distribution rectangulaire). Malgré le fait que l'influence des adaptateurs a été obtenue en en utilisant 2, la division par 2 de la différence observée (avec et sans les adaptateurs) n'est pas recommandée pour le moment.

C.5 Application des incertitudes en fonction du critère de conformité du générateur de TER/S

Afin de s'assurer que le générateur répond à ses spécifications, il convient généralement que les résultats d'étalonnage soient dans les limites spécifiées de la présente norme (les tolérances ne sont pas réduites par l'IM).

Bibliographie

CEI 60050-311:2001, *Vocabulaire Electrotechnique International – Mesures et appareils de mesure électriques et électroniques – Partie 311: Termes généraux concernant les mesures*

CEI 60050-702:1992, *Vocabulaire Electrotechnique International – Chapitre 702: Oscillations, signaux et dispositifs associés*

CEI 61000-4-2:2008, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-2: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux décharges électrostatiques*

CEI 61000-4-4:2004, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-4: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux transitoires électriques rapides en salves²*
Amendement 1 (2010)

CEI 61000-4-5:2005, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-5: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux ondes de choc*

CEI Guide 107, *Compatibilité électromagnétique – Guide pour la rédaction des publications sur la compatibilité électromagnétique*

² Edition antérieure (deuxième édition).

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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