

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Electromagnetic compatibility (EMC)

Part 4-25: Testing and measurement techniques – HEMP immunity test methods for equipment and systems

Compatibilité électromagnétique (CEM)

Partie 4-25: Techniques d'essai et de mesure – Méthodes d'essai d'immunité à l'IEMN-HA des appareils et des systèmes



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It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.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 61000-4-25

Edition 1.1 2012-05

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Electromagnetic compatibility (EMC)

Part 4-25: Testing and measurement techniques – HEMP immunity test methods for equipment and systems

Compatibilité électromagnétique (CEM)

Partie 4-25: Techniques d'essai et de mesure – Méthodes d'essai d'immunité à l'IEMN-HA des appareils et des systèmes

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX **CN**

ICS 33.100.99

ISBN 978-2-88912-055-0

**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 Definitions	8
4 General	11
5 Immunity tests and immunity test levels	12
5.1 Introduction	12
5.2 Immunity tests	12
5.3 Immunity test levels.....	12
5.4 Radiated disturbance tests.....	12
5.4.1 Radiated immunity test levels.....	12
5.4.2 Radiated immunity test specifications.....	13
5.4.3 Small radiated test facilities	14
5.4.4 Large HEMP simulators	14
5.4.5 Frequency domain spectrum requirements	16
5.5 Conducted disturbance tests.....	16
5.5.1 Conducted immunity test levels.....	16
5.5.2 Conducted immunity test specifications.....	19
6 Test equipment.....	20
6.1 Radiated field tests.....	20
6.1.1 Radiated field generator.....	20
6.1.2 Instrumentation.....	20
6.2 Conducted disturbance tests.....	21
6.2.1 Test generator	21
6.2.2 Instrumentation.....	23
7 Test set-up	23
7.1 Radiated disturbance test	23
7.2 Conducted disturbance test	23
8 Test procedure	24
8.1 Climatic conditions.....	24
8.2 Immunity test level and test exposures.....	25
8.3 Radiated disturbance test procedure	25
8.3.1 Test parameter measurements	25
8.3.2 Radiated test procedure.....	25
8.4 Conducted disturbance immunity test procedure	27
8.5 Test execution	27
8.5.1 Execution of the radiated immunity test	27
8.5.2 Execution of the conducted immunity test.....	28
9 Test results and test reports	28

Annex A (informative) Rationale for the immunity test levels	29
Annex B (informative) Conducted immunity tests for antennas	38
Annex C (informative) Conducted disturbance immunity tests	40
Annex D (normative informative) Damped oscillatory wave test.....	44
Figure 1 – Frequency domain spectral magnitude between 100 kHz and 300 MHz.....	14
Figure C.1 – Block diagram for EC10 and EC11 immunity tests	41
Figure C.2 – Example of a simplified circuit diagram of a fast transient/burst generator.....	41
Figure C.3 – Waveshape of an EC10 pulse into a 50 Ω load	42
Figure C.4 – Example of an EC11 generator (see clause C.1 for details).....	42
Figure C.5 – Waveshape of an EC11 pulse into a 50 Ω load	43
Figure C.6 – Simplified block diagram for LC immunity test levels	43
Figure C.7 – Waveshape of the LC slow pulse.....	43
Table 1 – Radiated immunity test levels defined in the present standard	13
Table 2 – Early time conducted immunity test levels	17
Table 3 – Intermediate time HEMP conducted immunity test levels	18
Table 4 – Conducted environment immunity test levels for late-time HEMP	19
Table 5 – Late time HEMP conducted environment effects tests for low-voltage a.c. power ports.....	19
Table 6 – Conducted HEMP immunity test specifications	20
Table A.1 – Radiated immunity test levels	30
Table A.2 – Conducted common-mode early time HEMP environments.....	31
Table A.3 – Early time HEMP conducted environments on LV circuits (low-voltage circuits up to 1 000 V).....	32
Table A.4 – Conducted environments for early time HEMP	33
Table A.5 – Early time HEMP conducted environments immunity test levels for LV circuits (low-voltage circuits up to 1000 V).....	34
Table A.6 – Example early time HEMP immunity test levels for various applications.	35
Table D.1 – ISO 7137 test procedure reference number 3.8.....	44
Table D.2 – VG current injection test	45
Table D3 – MIL-STD-461-E	45

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 4-25: Testing and measurement techniques – HEMP immunity test methods for equipment and systems

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.

This consolidated version of IEC 61000-4-25 consists of the first edition (2001) [documents 77C/113/FDIS and 77C/117/RVD] and its amendment 1 (2012) [documents 77C/216/FDIS and 77C/218/RVD]. It bears the edition number 1.1.

The technical content is therefore identical to the base edition and its amendment and has been prepared for user convenience. A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1. Additions and deletions are displayed in red, with deletions being struck through.

International Standard IEC 61000-4-25 has been prepared by subcommittee 77C: High power transient phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

It forms part 4-25 of IEC 61000. It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107.

~~Annex D forms an integral part of this standard.~~

Annexes A, B C and D are for information only.

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendments 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 publication using a colour printer.

INTRODUCTION

This standard is part of the IEC 61000 series, 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 product committees)

Part 4: Testing and measurement techniques

- Measurement techniques
- Testing techniques

Part 5: Installation and mitigation guidelines

- Installation guidelines
- Mitigation methods and devices

Part 6: Generic standards

Part 9: Miscellaneous

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

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 4-25: Testing and measurement techniques – HEMP immunity test methods for equipment and systems

1 Scope

This part of IEC 61000 describes the immunity test levels and related test methods for electrical and electronic equipment and systems exposed to high-altitude electromagnetic pulse (HEMP) environments. It defines ranges of immunity test levels and establishes test procedures. Specifications for test equipment and instrumentation test set-up, test procedures, pass/fail criteria, and test documentation requirements are also defined by this standard. These tests are intended to demonstrate the immunity of electrical and electronic equipment when subjected to HEMP radiated and conducted electromagnetic disturbances. For radiated disturbance immunity tests, specifications are defined in this standard both for small test facilities and large HEMP simulators.

This part of IEC 61000 defines specifications for laboratory immunity tests. On-site tests performed on equipment in the final installation to verify immunity are also specified. These verification tests use the same specifications as laboratory tests, except for the climatic environmental specifications.

The objective of this part of IEC 61000 is to establish a common and reproducible basis for evaluating the performance of electrical and electronic equipment, when subjected to HEMP radiated environments and the associated conducted transients on power, antenna, and input/output (I/O) signal and control lines.

2 Normative references

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

IEC 60050(161), *International Electrotechnical Vocabulary – Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

IEC 60038, *IEC standard voltages*

IEC 60068-1:1988, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*

IEC 61000-2-5, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 5: Classification of electromagnetic environments*. Basic EMC publication

IEC 61000-2-9, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 9: Description of HEMP environment – Radiated disturbance*. Basic EMC publication

IEC 61000-2-10:1998, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-10: Environment – Description of HEMP environment – Conducted disturbance*

IEC 61000-2-11, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2: Environment – Section 11: Classification of HEMP environments*. Basic EMC publication

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

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

IEC 61000-4-11, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 11: Voltage dips, short interruptions and voltage variations immunity tests*

~~IEC 61000-4-12, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4: Testing and measurement techniques – Section 12: Oscillatory waves immunity test*~~

IEC 61000-4-13, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-13: Testing and measurement techniques – Harmonics and interharmonics including mains signalling at a.c. power port, low frequency immunity tests* – Basic EMC Publication ¹

~~IEC 61000-4-18, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-18: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory wave immunity test*~~

IEC 61000-4-20, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-20: Testing and measurement techniques – Emission and immunity testing in transverse electromagnetic (TEM) waveguides*⁴

~~IEC 61000-4-33, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-33: Testing and measurement techniques – Measurement methods for high-power transient parameters*~~

IEC 61000-5-3, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5-3: Installation and mitigation guidelines – HEMP protection concepts*

IEC 61000-5-4/TR, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 5: Installation and mitigation guidelines – Section 4: Immunity to HEMP – Specifications for protective devices against HEMP radiated disturbance*. Basic EMC Publication

IEC 61024-1, *Protection of structures against lightning – Part 1: General principles*

~~ISO 7137, *Aircraft – Environmental conditions and test procedures for airborne equipment*~~

3 Definitions

For the purpose of this part of IEC 61000, the following definitions apply.

3.1

compatibility level

specified electromagnetic disturbance level used as a reference level for co-ordination in the setting of emission and immunity limits

[IEV 161-03-10]

3.2

coupling (HEMP)

interaction of electromagnetic fields with a system to produce currents and voltages on system surfaces and cables

3.3

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

¹ To be published

3.4**coupling network**

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

3.5**decoupling network**

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

3.6**degradation (of performance)**

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

NOTE The term “degradation” can apply to a temporary or permanent failure.

[IEV 161-01-19]

3.7**electromagnetic disturbance**

any electromagnetic phenomenon which may degrade the performance of a device, equipment or system

[IEV 161-01-05, modified]

3.8**electromagnetic interference**

degradation of the performance of a device, transmission channel or system caused by an electromagnetic disturbance

[IEV 161-01-06]

3.9**electromagnetic susceptibility**

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

NOTE Susceptibility is a lack of immunity.

[IEV 161-01-21]

3.10**EUT (equipment under test)**

the equipment under test can be a single unit or multiple units interconnected by cables, data links, etc.

NOTE Multiple units interconnected by cables, etc. are also called a system [see 3.27 below].

3.11**fast Fourier transform****FFT**

mathematical procedure for rapidly computing the direct or inverse Fourier transform of a time domain signal or of a frequency domain spectrum, respectively. It requires 2^m ($m = \text{integer}$) data points that are equally spaced in time or frequency, and involves much less computation time than a standard discrete Fourier transform (DFT)

3.12**ground reference plane**

flat conductive surface, whose potential is used as a common reference

[IEV 161-04-36]

3.13**HV transmission line**

power line with a nominal a.c. system voltage equal to or greater than 100 kV

3.14**short circuit current** I_{sc}

current resulting from an abnormal connection of relatively low resistance between two points of different potentials in a circuit

3.15**immunity (to a disturbance)**

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

[IEV 161-01-20]

3.16**immunity level**

maximum level of a given electromagnetic disturbance incident on a particular device, equipment or system for which it remains capable of operating at a required degree of performance

[IEV 161-03-14]

3.17**immunity test level**

value of an influencing electromagnetic quantity specified for an immunity test

NOTE It is to be noted that the text of this definition is the same as for severity level. A test standard can specify several severity levels according to different immunity levels.

3.18**large HEMP simulator**

transient electromagnetic pulse test facility with a test volume sufficiently large to test objects with cubical dimensions equal to or greater than 1 m × 1 m × 1 m

3.19**LV (low-voltage) power circuit**

power circuit with a nominal a.c. voltage between 120 V and 1 000 V

NOTE The standard voltages in this voltage range are presented in IEC 60038.

3.20**MV (medium voltage) distribution power line**

power line with a nominal a.c. voltage above 1 kV and not exceeding 35 kV used to distribute power within a local area

NOTE The standard voltages in this voltage range are presented in IEC 60038.

3.21**point-of-entry****port-of-entry****PoE**

the physical location (point/port) on the electromagnetic barrier, where EM energy may enter or exit a topological volume, unless an adequate PoE protective device is provided. A PoE is not limited to a geometrical point. PoEs are classified as aperture PoEs or conductor PoEs, according to the type of penetration. They are also classified as architectural, mechanical, structural or electrical PoEs, according to the architectural engineering discipline in which they are usually encountered

3.22**pulse width**

time interval between the points on the leading and trailing edges of a pulse at which the instantaneous value is 50 % of the peak pulse amplitude

3.23**rise time (of a pulse)**

interval of time between the instants at which the instantaneous value of a pulse first reaches a specified lower value and then a specified upper value

[IEV 161-02-05]

NOTE In this standard, the lower value is ten (10) percent of the peak, and the upper value is ninety (90) percent of the peak value

3.24**severity level**

value of an influencing electromagnetic quantity specified for an immunity test

NOTE It is to be noted that the text of this definition is the same as for immunity test level. A test standard can specify several severity levels according to different immunity levels.

3.25**small radiated test facility**

laboratory transient electromagnetic pulse test facility such as a TEM cell with a test volume sufficiently large to test objects with cubical dimensions less than $1 \times 1 \times 1$ meter

3.26**surge protection device (SPD)**

device to suppress line conducted overvoltages and currents

NOTE Examples are surge suppressors defined in IEC 61024-1.

3.27**system**

multiple equipment or electrical units connected by cables, data links, etc.

3.28**test volume**

volume in which the incident electromagnetic fields meet, or exceed, the required strength and field uniformity requirements.

3.29**transient**

phenomenon which varies between two consecutive steady states during a time interval short compared with the time-scale of interest

[IEV 161-02-01]

3.30**open circuit voltage**

V_{oc}

voltage between points in a circuit where one of the points was created by opening or breaking the circuit

4 General

The nuclear high-altitude electromagnetic pulse test consists of two major parts: radiated immunity testing and conducted immunity testing. The radiated immunity test is performed for the purpose of demonstrating that the equipment under test has the ability to continue functioning when exposed to *radiated* HEMP fields. Similarly, the conducted immunity test is

performed for the purpose of demonstrating that the equipment under test will not be adversely affected by exposure to *conducted* HEMP transients. These transients are current and voltage pulses on conductors (wires, cables) that are connected to the equipment. In general, conducted HEMP transients induced in power and telecom lines are often the most severe threats to equipment. The immunity tests described in this standard involve hazardous voltages. High-voltage precautions will be necessary to protect the health and safety of test personnel.

5 Immunity tests and immunity test levels

5.1 Introduction

This standard has been developed to specify the HEMP immunity test for electrical or electronic equipment and systems. The intent is to allow manufacturers to qualify equipment early in the design cycle, and to use many of the same IEC laboratory immunity tests that are already prescribed for other EMC purposes.

5.2 Immunity tests

HEMP immunity tests consist of two major types: radiated immunity tests and conducted immunity tests. For the purpose of this standard, the term "electronic equipment" denotes an apparatus that performs a specific function. This could be a small computer or a telephone. Some equipment (for example, a computer connected to additional peripherals such as control boards to monitor processes in a factory) may be considered as part of a larger system. Often, electronic equipment are relatively small – on the order of 1 m x 1 m x 1 m or smaller. It is expected that most of the tests on such small equipment will be performed in laboratories using current injection simulators and TEM cells.

For HEMP (and EMC) tests, size can be an important factor, since very large systems may be difficult to test, especially by radiated fields. In general, radiated field tests on systems and large equipment with dimensions greater than 1 m on a side will require a large HEMP simulator. One aspect of HEMP testing that is different from other kinds of EMC testing is that there are several large (~10 m high) early-time ($t < 1 \mu\text{s}$) HEMP simulators throughout the world. It is possible to expose some systems and large equipment to the early-time HEMP threat by reproducing the pulsed electric and magnetic fields. These simulators are also useful in verifying that equipment designed and tested for HEMP survival at the equipment level, will work properly when integrated into a complete system.

5.3 Immunity test levels

This standard defines electromagnetic disturbances that represent those which could result at the equipment ports due to a high-altitude nuclear event. These electromagnetic disturbances will be the result of the radiated and conducted HEMP environments, as modified by any protection elements. These electromagnetic disturbances are described in IEC 61000-2-9, IEC 61000-2-10 and IEC 61000-2-11. The rationale for the immunity test levels and threat reductions due to protection elements and probable flashovers are described in annex A.

5.4 Radiated disturbance tests

5.4.1 Radiated immunity test levels

The radiated immunity test levels described below involve only the early time radiated fields. Testing for the intermediate-time and late-time HEMP fields are not required. Information regarding the selection of the immunity test levels is given in annex A. The peak values of the early-time electric field, E_{peak} , for selected immunity test levels are listed in table 1.

Table 1 – Radiated immunity test levels defined in the present standard

Immunity test level	Test required for equipment and systems with the following protection ^a	E-field peak value ^b E_{peak} (kV/m)
R1	Concept 4	0,5
R2	Intermediate value	1
R3	Intermediate value	2
R4	Concepts 2A, 2B, 3	5
R5	Intermediate value	10
R6	Intermediate value	20
R7	Concepts 1A, 1B	50
RX	Special applications	X

^a The protection concepts are described in IEC 61000-5-3

^b According to IEC 61000-2-11, table 2

5.4.2 Radiated immunity test specifications

In the absence of an object in the simulator, the electric field in the test volume is a wave comparable to a quasi-plane wave, with a double exponential pulse time history described by a 2,5/25 ns wave, i.e. a unipolar wave with a 10 %-90 % rise time of 2,5 ns and a pulse width equal to 25 ns. This waveform is given by the equation below.

$$E(t) = E_{\text{peak}} \times k \times (e^{-\beta t} - e^{-\alpha t}) \quad \text{V/m} \quad (1)$$

where

$$\alpha = 6,0 \times 10^8 \text{ s}^{-1}, \quad \beta = 4,0 \times 10^7 \text{ s}^{-1}, \quad \text{and}$$

$$k = 1,3.$$

E_{peak} is the peak value of the electric field in volts per meter.

NOTE E_{peak} is the immunity test level selected from table 1.

t is the time in seconds.

The frequency-domain spectral magnitude for equation (1) is given by

$$|E(f)| = \frac{E_{\text{peak}} \times k \times (\alpha - \beta)}{\sqrt{[(2\pi f)^2 + \alpha^2][(2\pi f)^2 + \beta^2]}} \quad (\text{V/m/Hz}) \quad (2)$$

where

f is the frequency in hertz.

For the waveform parameters given above, the frequency-domain spectral magnitude of equation (2) is shown in figure 1.

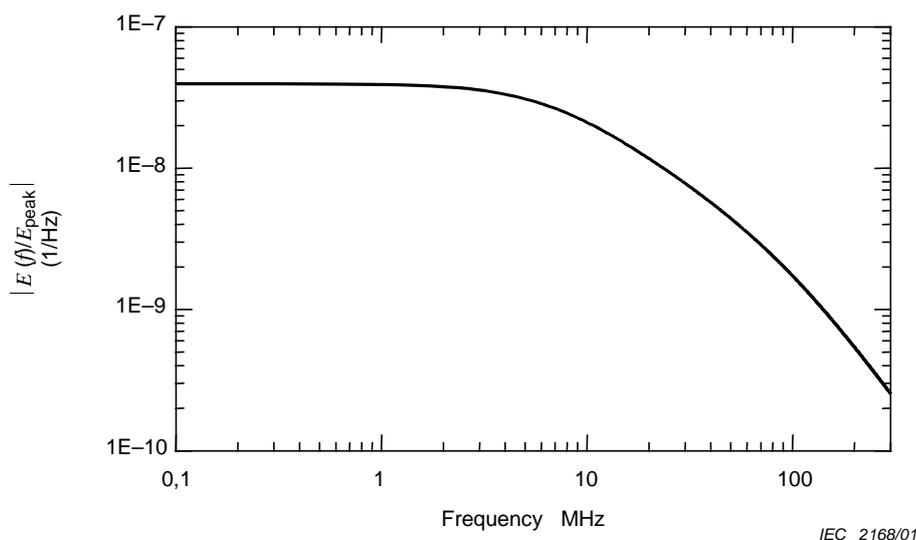


Figure 1 – Frequency domain spectral magnitude between 100 kHz and 300 MHz.

5.4.3 Small radiated test facilities

Small test facilities can more easily meet the desired field specifications with smaller tolerances in parameter variations than the large HEMP simulators. These small facilities will be used primarily to test relatively small equipment. Tolerances for the early-time HEMP pulse waveform over the entire parallelepiped test volume of the small test facility shall be as follows.

- The ratio of peak electric field to the peak magnetic field shall be equal to $377 \Omega \pm 50 \Omega$.
- The rise time between 10 % and 90 % of the peak value shall be within the range of 2,0 ns and 2,5 ns.
- The electric field shall be continuously increasing during the 10 % and 90 % rise time.
- The pulse width (the time duration between points on the leading and trailing edges of the pulse at 50 % of E_{peak}) shall be within the range of 25 ns and 30 ns.
- The magnitude of any pre-pulse on the electric field shall be equal to or less than 7 % of the magnitude of the peak field.
- Electric field reflections from the terminator of the simulator shall be less than 10 %.
- Fluctuations in the smoothed frequency spectrum of the electric field at the centre of the test volume (see 5.4.5) shall not be larger than ± 3 dB compared to theoretical spectrum given by equation (2) in the bandwidth between 100 kHz and 300 MHz.
- At the time of the peak value of the simulated fields, other non-principal electromagnetic components shall be smaller than 10 % of the peak value of the simulated field.
- The peak electric field shall be uniform in the test volume to within the following criteria: the peak electric field within the test volume shall be within the range of E_{peak} and $E_{\text{peak}} + 6$ dB.
- To evaluate the field tolerances, electric and magnetic field measurements at the centre and the eight corners of the test volume shall be performed in the absence of the EUT.

5.4.4 Large HEMP simulators

Large HEMP simulators can be used to test large equipment and complete systems. Due to the variety of such simulators, there are wide ranges of rise times, pulse widths and amplitudes of the fields produced by these devices. Consequently, large HEMP simulators are divided into two types, based on their radiated field behaviour: types I and II. Generally, type I simulators provide a shorter rise time and pulse width than do the type II simulators. A pre-test analysis is required for tests with type II simulators, since these test facilities do not meet the radiated immunity specifications given in 5.4.2.

The response of an electrical component within a system due to HEMP depends not only on the pulse shape (or frequency domain spectrum), but also on the coupling and penetration mechanism that the HEMP signals use in propagating from the external portions of the system to the component. In some classes of systems (i.e., small systems with no long conducting appendages, like a mobile telephone), the HEMP coupling will be dominated by aperture penetrations – an inherently high frequency mechanism. Consequently, the type I simulators having a larger high frequency spectral content would be desirable for testing. However, in other types of systems containing longer external conductors (a HF radio, for example), the dominant HEMP response will result from the field coupling to the antenna. Thus, the type II simulators with a slower rise and longer pulse width would likely be adequate for testing these particular systems.

The fact that different systems can react to different components of the incident HEMP environment illustrates the point that a pre-test analysis program is necessary for type II simulators. The pre-test analysis shall be performed to determine exactly how the type II simulated fields will couple to the system, and to assess the adequacy of the type II simulators for performing the immunity test. The adequacy of the test shall be demonstrated by comparing the interaction and coupling results of the simulated fields with those of the theoretical pulse described in 5.4.2.

5.4.4.1 Large HEMP simulators – type I

For testing in the type I simulators, the peak electric field, E_{peak} , shall be chosen from table 1 corresponding to the immunity test level selected for the test. Tolerances for the early-time HEMP pulse over the entire parallelepiped test volume of the simulator shall be as follows.

- The ratio of peak electric field to the peak magnetic field shall be equal to $377 \Omega \pm 50 \Omega$.
- The rise time between 10 % and 90 % of the peak value shall be $2,5 \text{ ns} \pm 0,5 \text{ ns}$.
- The electric field shall be continuously increasing during the 10 % and 90 % rise time.
- The pulse width (the time duration between points on the leading and trailing edges of the pulse at 50 % of E_{peak}) shall be within the range of 25 ns and 75 ns.
- The magnitude of any pre-pulse on the electric field shall be equal to or less than 7 % of the magnitude of the peak field.
- Electric field reflections from the terminator of the simulator shall be less than 10 %.
- Fluctuations in the smoothed frequency spectrum of the electric field at the centre of the test volume (see 5.4.5) shall not be larger than $\pm 10 \text{ dB}$ compared to theoretical spectrum given by equation (2) in the bandwidth between 1 MHz and 200 MHz.
- The peak electric field shall be uniform in the test volume to within the following criteria: the peak electric field within the test volume shall be within the range of E_{peak} and $E_{\text{peak}} + 6 \text{ dB}$.
- To evaluate the field tolerances, electric and magnetic field measurements at the centre and the eight corners of the test volume shall be performed in the absence of the EUT.

5.4.4.2 Large HEMP simulators – type II

A pre-test analysis is required for tests with type II simulators since these test facilities do not meet the radiated immunity specifications given in 5.4.2.

The specifications of type II large simulators are the same as type I, except for rise time, pulse width, and frequency spectrum specification, which are as follows:

- The rise time between 10 % and 90 % of the peak value shall be within the range of 2 ns and 10 ns.
- The pulse width (the time duration between points on the leading and trailing edges of the pulse at 50 % of E_{peak}) shall be within the range of 25 ns and 500 ns.

- Fluctuations in the smoothed frequency spectrum of the electric field at the centre of the test volume (see 5.4.5) shall not be larger than ± 10 dB compared to the theoretical spectrum given by equation (2) in the bandwidth between 1 MHz and 100 MHz.

5.4.5 Frequency domain spectrum requirements

In addition to the requirements on the transient fields of the HEMP simulator, the following requirements shall be placed on the frequency domain spectrum of the simulator fields:

- a) The frequency spectrum shall be computed using a uniformly sampled transient waveform having 4 096 samples between the starting time of 0 and the ending time of 2 μ s. A 2 048 point complex-valued frequency spectrum shall be calculated using an FFT (fast Fourier transform) or a discrete Fourier transform (DFT) with a frequency sampling interval of 0,5 MHz, and a maximum frequency of 1,0 GHz.
- b) The frequency domain spectrum shall be smoothed using a 5-point windowing average (i.e., the spectrum is to be averaged over a 2 MHz window).
- c) The resulting magnitude of the smoothed spectrum shall lie within the specified dB level of the spectrum of the specified waveform of equation (2), and as shown normalized in figure 1.

It should be noted that most measured frequency spectra have occasional nulls (or "drop outs"), which do not significantly alter the overall behaviour of the transient waveform. The requirement that the smoothed frequency domain spectrum of the small and large simulators lie within ± 3 dB and ± 10 dB, respectively, is made in recognition of this fact, and with the goal of permitting an occasional null in the spectrum. The spectral limits of ± 3 dB and ± 10 dB are different, because the smaller simulators generally have smaller tolerances and higher accuracy of the simulated fields.

5.5 Conducted disturbance tests

5.5.1 Conducted immunity test levels

For the conducted disturbance, three types of conducted environments shall be considered. These correspond to each of the time regimes for HEMP (early, intermediate and late time). The conducted immunity test levels for the three types of conducted environments are shown in tables 2, 3, and 4. The values listed in tables 2, 3 and 4 are common-mode test values. Only common mode tests are required for I/O cables and shielded cables. Both common-mode and differential-mode tests are required for power and telecom ports for the first two time regimes (early and intermediate time). Differential-mode immunity test levels are the same as the common-mode values. Table 5 provides information on other tests designed to account for the indirect effects of the late time environment.

See annex A for a description of the immunity test levels as a function of required reliability and protection of the installed equipment.

5.5.1.1 Early-time conducted immunity test levels

The early time conducted immunity test levels are listed in table 2. The first six levels utilise damped sinusoids waveforms to account for the ringing associated with interior building wiring. The application of immunity test levels for the protection concepts, confidence levels (probability), and various cable ports are shown in table A.3. Antenna cable ports can be driven by exposing the antenna to a simulated HEMP in a radiated immunity test, or by driving the antenna port by an appropriate conducted differential-mode surge, as determined in annex B.

Table 2 – Early time conducted immunity test levels

Immunity test level	V_{ee} V	I_{ee} A	Waveform	Basic standard	Severity level in the basic standard
EC1	100	1	Damped sinusoids ^a	ISO 7137	See Annex D
EC2	250	2,5	Damped sinusoids ^a	ISO 7137	See Annex D
EC3	500	5	Damped sinusoids ^a	ISO 7137	See Annex D
EC4	1 000	10	Damped sinusoids ^a	ISO 7137	See Annex D
EC5	2 000	20	Damped sinusoids ^a	ISO 7137	See Annex D
EC6	4 000	40	Damped sinusoids ^a	ISO 7137	See Annex D
EC7	4 000	80	5/50 ns	IEC 61000-4-4	4
EC8	8 000	160	5/50 ns	IEC 61000-4-4	X
EC9	16 000	320	5/50 ns	IEC 61000-4-4	X
EC10	25 000	500	25/500 ns	This standard	EC10
EC11	160 kV	3 200	10/100 ns	This standard	EC11
ECX	Special	Special	Fast transient	This standard	ECX

NOTE 1 – Voltage and current levels shown in the table are for common mode values.

NOTE 2 – EC10 consists of four sublevels in addition to 25 kV: 1 kV, 4 kV, 8 kV and 16 kV.

NOTE 3 – For immunity test levels EC8 and EC9, it is sufficient to test with a single pulse

NOTE 4 – EC11 consists of four sublevels in addition to 160 kV: 20 kV, 40 kV, 80 kV and 120 kV. This immunity test level category is intended for testing equipment directly connected to long MV distribution power lines protected against lightning. If lightning protection is not used, increase V_{oc} to 1,6 MV and I_{sc} to 4 000 A (see Annex A).

^a – Each immunity test level consists of at least two frequencies: 1 MHz and 10 MHz or 10 MHz and 30 MHz. The damping parameter Q of the damped oscillatory wave test, as defined by equation (D.1) in IEC 61000-2-10, ranges from 5 to 20.

Immunity test level	V_{oc} V	I_{sc} A	Waveform	Basic standard	Severity level in the basic standard
EC1	100	2	Damped sinusoids ^a	IEC 61000-4-18	X
EC2	250	5	Damped sinusoids ^a	IEC 61000-4-18	X
EC3	500	10	Damped sinusoids ^a	IEC 61000-4-18	1
EC4	1 000	20	Damped sinusoids ^a	IEC 61000-4-18	2
EC5	2 000	40	Damped sinusoids ^a	IEC 61000-4-18	3
EC6	4 000	80	Damped sinusoids ^a	IEC 61000-4-18	4
EC7	4 000	80	5/50 ns	IEC 61000-4-4	4
EC8	8 000	160	5/50 ns	IEC 61000-4-4	X
EC9	16 000	320	5/50 ns	IEC 61000-4-4	X
EC10	25 000	500	25/500 ns	This standard	EC10
EC11	160 kV	3 200	10/100 ns	This standard	EC11
ECX	Special	Special	Fast transient	This standard	ECX

NOTE 1 – Voltage and current levels shown in the table are for common mode values.

NOTE 2 – EC10 consists of four sublevels in addition to 25 kV: 1 kV, 4 kV, 8 kV and 16 kV.

NOTE 3 – For immunity test levels EC8 and EC9, it is sufficient to test with a single pulse.

NOTE 4 – EC11 consists of four sublevels in addition to 160 kV: 20 kV, 40 kV, 80 kV and 120 kV. This immunity test level category is intended for testing equipment directly connected to long MV distribution power lines protected against lightning. If lightning protection is not used, increase V_{oc} to 1,6 MV and I_{sc} to 4 000 A (see Annex A).

^a – Each immunity test level consists of at least three frequencies: 3 MHz, 10 MHz and 30 MHz. The damping parameter Q of the damped oscillatory wave test, as defined by equation (D.1) in IEC 61000-2-10:1998, ranges from 5 to 20.

5.5.1.2 Intermediate-time conducted immunity test levels

The intermediate time HEMP conducted immunity test levels are shown in table 3. IC3 is used for protection concepts 1A and 2A, which do not have lightning protection on the LV a.c. power circuit. The rationale for this immunity test level is described in annex A. Immunity test levels IC2 and IC1 are lower than the IC3 level, since each test must include the specified test level plus the previous two lower levels, as described in the test procedure in clause 9. If lightning protection is used, intermediate time HEMP tests are not required, since SPDs used for lightning protection will be effective against the relatively slow surges in table 3.

Table 3 – Intermediate time HEMP conducted immunity test levels

Immunity test level	V_{oc} V	I_{sc} A	Time waveform	Basic standard	Severity level in the basic standard
IC1	1 000	25	Unidirectional pulse 10/700 μ s	IEC-61000-4-5 (ITU-T test) ²	2
IC2	2 000	50	Unidirectional pulse 10/700 μ s	IEC-61000-4-5 (ITU-T test)	3
IC3	4 000	100	Unidirectional pulse 10/700 μ s	IEC-61000-4-5 (ITU-T test)	4
ICX	Special	Special	Unidirectional pulse 10/700 μ s	IEC-61000-4-5 (ITU-T test)	X

NOTE Voltage and current levels shown in the table are for common mode values. For differential mode, use the values shown for common mode in the table.

5.5.1.3 Late-time conducted immunity test levels

The late-time HEMP conducted disturbance is a concern for telecommunications equipment, equipment directly connected to MV distribution power lines, and HV transmission power lines. LV power circuits will not be affected by the direct effects of the quasi-dc disturbance, due to their short lengths and the attenuation provided by distribution transformers. Although the ideal time waveform is a unipolar 1/50 s pulse, this waveform will be difficult to simulate, particularly at relatively high currents. For immunity testing, a trapezoidal pulse is used which is easier to realize. Conducted environment immunity test levels for late-time HEMP are listed in table 4.

² The ITU is the International Telecommunications Union.

Table 4 – Conducted environment immunity test levels for late-time HEMP

Immunity test level	V_{oc} V	I_{sc} A	Time waveform	Basic standard	Application
LC1	120	1,2	Unidirectional 60 s trapezoidal pulse	This standard	Typical telecom port with lines of 3 km or less
LC2	400	1,33	Unidirectional 60 s trapezoidal pulse	This standard	Telecom port for long lines up to 10 km.
LC3	400	25	Unidirectional 60 s trapezoidal pulse	This standard	Equipment directly connected to MV primary distribution power circuits ^a
LC4	4 000	1 500	Unidirectional 60 s trapezoidal pulse	This standard	Equipment directly connected to long HV transmission power lines ^a
LCX	Special	Special	Special	This standard	Voltage and current immunity test levels defined by the user.

NOTE The detailed waveform specifications are presented in annex C.

^a Applicable only if a d.c. path to earth exists at both ends of the line. Information on the selection of the immunity test levels is given in annex A.

Low voltage power circuits will be exposed to the indirect effects of the late time HEMP conducted disturbance on power distribution and transmission lines. Table 5 list tests for immunity to harmonic distortion and voltage dips appropriate for equipment low-voltage a.c. power ports.

Table 5 – Late time HEMP conducted environment effects tests for low-voltage a.c. power ports

Immunity test level	Effects	Test specification	Basic standard	Severity level in the basic standard
LCH1	Severe harmonic distortion	2 nd harmonic – 5 % of V_r 3 rd harmonic – 8 % of V_r	IEC 61000-4-13	Class 3 test level
LCV1	Voltage variations	60 % of V_r dip for 10 periods	IEC 61000-4-11	Test level 40 % of V_r

NOTE V_r is the rated a.c. input voltage.

5.5.2 Conducted immunity test specifications

In this standard, various IEC EMC tests that meet HEMP test requirements have been identified to minimise the number of new generators and test facilities needed to perform the tests. The test specifications are those of the existing standards as referenced in table 6. A coupling/de-coupling network similar to that used to conduct tests in IEC 61000-4-4, IEC 61000-4-5 and IEC 61000-4-~~12~~ 18 shall be used for EC1 through EC11 and IC1 through IC4 tests. For early-time HEMP conducted immunity tests, the dielectric strength of the network shall be checked and confirmed as being adequate. For EC11 early-time HEMP conducted disturbances, the dielectric strength of the network ~~shall~~ **should** be designed to withstand voltage pulses up to 200 kV. **Instrumentation and measurement guidance for the special tests defined by this standard is available in IEC 61000-4-33.**

Table 6 – Conducted HEMP immunity test specifications

Conducted test	Reference document for the test specifications	Source impedance Ω	Special considerations
Early-time EC1 – EC6	ISO-7137 IEC 61000-4-18	100 ± 20 % at test frequencies	Damped oscillatory wave test. See annex-D
Early-time EC7- EC9	IEC 61000-4-4	50 ± 30 % from 1 MHz to 100 MHz	Burst repetition rate: 2,5 kHz Burst duration: 10 ms
Early-time EC10	This standard	50 ± 30 % from 1 MHz to 20 MHz	Single unipolar pulse 25/500 ns wave IEC 61000-4-33 is applicable.
Early-time EC11	This standard	50 ± 30 % from 1 MHz to 50 MHz	Single unipolar pulse 10/100 ns wave IEC 61000-4-33 is applicable.
Intermediate-time IC1 – IC4	IEC-61000-4-5	40 ± 10 % Range: per standard	ITU-T test
Late-time LC1 – LC2	This standard	Variable 100 to 300 Tolerance: ± 10 %	Trapezoidal wave generator IEC 61000-4-33 is applicable
Late-time LC3 – LC4	This standard	0,06 or less Tolerance: + 10 %	Current injection generator IEC 61000-4-33 is applicable
Late-time Indirect effects	IEC 61000-4-11 IEC 61000-4-13	Per standard Per standard	None

6 Test equipment

6.1 Radiated field tests

6.1.1 Radiated field generator

The radiated field generator shall be either a small radiated field test facility that meets the specification requirements in 5.4.3, or a large HEMP simulator that meets the specification requirements in 5.4.4.

6.1.2 Instrumentation

The measurement method shall involve the use of a fibre optic transmission link that permits signals to be measured and transmitted to a data processing system without disturbing the ambient EM field. The measurement system shall be intrinsically insensitive to electromagnetic radiation emitted by the simulator. **The instrumentation and measurement techniques described in IEC 61000-4-33 are applicable to the radiated field tests in this standard.** The purposes of the measurement system are

- a) to provide reference field measurements,
- b) to synchronise the simulated HEMP with the operational modes of the system under test as required by the user, and
- c) to provide EUT current and voltage measurements, as required by the user.

The required overall measurement system accuracy ~~shall~~ **should** be within $\pm 3,0$ dB over a frequency range of f_{\min} to f_{\max}

where

$f_{\min} = 0,025/(\text{pulse width})$ and

$f_{\max} = 1,25/(\text{pulse rise time})$.

The maximum required frequency range is 50 kHz to 500 MHz., i.e. it is not necessary for f_{\min} to be less than 50 kHz and f_{\max} to exceed 500 MHz. The required overall measurement system instantaneous dynamic range ~~must~~ **should** be at least 40 dB.

It is recommended that the measurement system have the following characteristics.

- The data transmission system should have a minimum 3dB bandwidth of 50 kHz to 1GHz.
- The digitizer or oscilloscope should have a 500 MHz minimum bandwidth and a minimum sampling rate of 2 gigasamples per second with a minimum data resolution of 8 bits.
- The electric and magnetic field sensors should have a minimum 3 dB bandwidth of 50 kHz to 1 GHz.
- The current sensors should have a minimum 3dB bandwidth of 50 kHz to 200 MHz.

The reference field measurement shall consist of the three electric and the three magnetic field orthogonal components to permit an assessment of the electric to magnetic field ratio, as well as the spurious electromagnetic field components. The user also may specify other field measurements in the test volume.

If the user requires voltage data, the measurement system shall be carefully designed to provide accurate voltage measurements in the presence of strong electromagnetic fields.

6.2 Conducted disturbance tests

6.2.1 Test generator

The test generators for conducted disturbance immunity tests are the same as those required by the basic standards referenced in table 6. Immunity test levels EC10, EC11 and LC1 – LC4 are referenced to this standard; specifications for the test generators are presented below.

6.2.1.1 EC10 generator

The characteristics and performance of the EC10 fast transient generator including the coupling device are as follows:

- open circuit voltage range: 1 kV – 10 % to 25 kV + 10 %
- the generator shall be capable of operating under short circuit conditions.

Characteristics for operation under 50 Ω load condition:

- maximum energy: 6 J/pulse at 16 kV into a 50 Ω load
- polarity: positive/negative
- rise time (10 % to 90 %) of the pulse: 25 ns \pm 30 %
- pulse duration (50 % value): 500 ns \pm 30 %
- output type: coaxial
- dynamic source impedance (see note): 50 Ω \pm 15 Ω
- pulse waveshape: double exponential
- relationship to power supply: asynchronous

NOTE The source impedance may be verified by the measurement of the peak values of the output impulse voltage at no load and 50 Ω load conditions respectively (ratio 2:1).

6.2.1.2 EC11 generator

The characteristics and performance of the EC11 fast transient generator including the coupling device are as follows:

- open circuit voltage range: 20 kV –10 % to 160 kV + 10 %
- the generator shall be capable of operating under short circuit conditions.

Characteristics for operation under 50 Ω load condition:

- maximum energy: 50 J/pulse at 160 kV into a 50 Ω load
- polarity: positive/negative
- rise time (10 % to 90 %) of the pulse: 10 ns ± 30 %
- pulse duration (50 % value): 100 ns ± 30 %
- output type: coaxial
- dynamic source impedance (see note): 50 Ω ± 15 Ω
- pulse waveshape: double exponential
- relationship to power supply: asynchronous

NOTE The source impedance may be verified by the measurement of the peak values of the output impulse voltage at no load and 50 Ω load conditions respectively (ratio 2:1).

6.2.1.3 LC generator

The characteristics and performance of the LC1 and LC2 slow pulse generator including the coupling device are as follows:

- open circuit voltage waveshape: square wave
- load voltage waveshape: trapezoid
- trapezoidal voltage droop for a 100 Ω load: 10 %
- open circuit voltage range: 50 V – 10 % to 500 V + 10 %
- polarity: positive/negative
- voltage rise time (10 % to 90 %) for a 100 Ω load: 1 s ± 0,5 s
- voltage pulse duration (50 % value) for a 100 Ω load: 60 s ± 0,5 s
- variable source impedance: 100 Ω – 10 % to 300 Ω +10 %

NOTE See Annex C for additional waveform details.

For testing power system components, a current injection generator is appropriate, since the load impedance at low frequencies (a few hertz) ranges from a few ohms to tens of ohms for transformer windings and inductors connected to earth. The characteristics and performance of the LC3 and LC4 slow pulse generator are as follows:

- open circuit voltage waveshape: square wave
- load current waveshape: trapezoid
- trapezoidal current droop for a 0,1 Ω load: 50 %
- source impedance: less than 0,06 Ω
- peak current for a 0,1 Ω load: 1 500 A ± 100 A
- peak current for a 10 Ω load: 25 A ± 2,5 A
- polarity: positive/negative
- current rise time (10 % to 90 %) for a 0,1 Ω load: 1 s ± 0,5 s

– current pulse duration (50 % value): 60 s ± 0,5 s

NOTE See annex C for additional waveform details.

6.2.2 Instrumentation

The test instrumentation for conducted disturbance immunity tests is the same as that required by the basic standards referenced in table 6. ~~For levels that are referenced in this standard, the required overall measurement system accuracy shall be within ±3,0 dB over a frequency range of f_{min} to f_{max} where $f_{min} = 0,025/(\text{pulse width})$ and $f_{max} = 1,25/(\text{pulse rise time})$.~~ For the special tests defined by this standard, the instrumentation and measurement techniques described in IEC 61000-4-33 are applicable. The required overall measurement system accuracy should be within ± 3,0 dB over a frequency range of f_{min} to f_{max} where $f_{min} = 0,025/(\text{pulse width})$ and $f_{max} = 1,25/(\text{pulse rise time})$. The maximum required frequency range is 50 kHz to 500 MHz., i.e. it is not necessary for f_{min} to be less than 50 kHz and f_{max} to exceed 500 MHz. The required overall measurement system instantaneous dynamic range ~~must~~ should be at least 40 dB. For immunity test levels EC9 to EC11, high voltage probes will be required to monitor the voltages.

7 Test set-up

7.1 Radiated disturbance test

The test volume of a simulator depends on its physical size and on the characteristics of the radiating structure (antenna). It is defined as the volume in which the incident electromagnetic fields meet, or exceed, the required strength and field uniformity requirements, as specified in 5.4.3 and 5.4.4 for a simulated HEMP test. If the object under test is too large relative to the test volume, the induced response will deviate from that of an incident plane wave illumination, and the results of the test will be questionable.

To ensure the accuracy of the simulation, it is necessary to minimise the EUT-simulator interaction by locating the object under test far enough from the radiating or wave guiding elements of the simulator. For a bounded wave (parallel-plate) simulator, the object under test shall be located no closer than 0,3 times its overall transverse dimension to the parallel plates. If the EUT is to be tested while resting on a ground plane, it shall be located no closer than 0,6 times its transverse dimension to the upper parallel plate. For free-field simulators (e.g., vertical or horizontal radiating dipole antennas), the EUT can, in principle, be located closer to the simulator structure, because the EUT-simulator interaction is not as great as in the case of a parallel plate simulator.

The EUT is described generally as having a finite volume, with dimensions determined by its greatest orthogonal dimensions in height, width and length. The EUT must fit within the simulator test volume as defined above. If “short” external conductors that are associated with the EUT can be illuminated in a realistic manner by the simulator, (see clause 8), then those cables shall also be used in determining the volume of the EUT. If the EUT is to be tested in a free-field mode, that is to say, not resting on a ground plane, then it shall be placed on a dielectric stand within the simulator, as described in 8.3.2.1 and 8.3.2.2.

7.2 Conducted disturbance test

The test set-up requirements for HEMP conducted disturbance immunity testing are the same as those for the other IEC EMC tests referenced in table 6. This approach permits the completion of HEMP conducted immunity testing, either as a stand-alone requirement, or as part of other IEC EMC required tests. For laboratory HEMP conducted disturbance immunity tests that are not referenced to other IEC EMC tests, the EUT shall be placed on a dielectric stand at a height of 0,1 m ± 0,01 m above the ground plane. In the case of table-top equipment or systems, the EUT shall be placed on a dielectric stand at a height of 0,8 m ± 0,08 m above the ground plane. A ground connection shall be between the ground plane and the EUT according to the manufacturer's specification. The minimum distance between the EUT and other conducting surfaces is 0,5 m.

The test equipment and instrumentation required for EMC tests by other IEC-approved standards, as referenced in table 6, can be used for HEMP conducted immunity tests. However, for special immunity test levels, such as severity level X in a referenced standard, special equipment with higher peak pulse voltage capabilities may be required. For late-time HEMP conducted immunity tests, instrumentation ~~–must~~ **should** be capable of recording the injected pulse and equipment or system response up to 60 s.

8 Test procedure

Tests for conducted and radiated disturbance immunity may be performed separately. There are no requirements for testing both types of stresses simultaneously.

If the entire system including all “short” external conductors can be illuminated in a realistic manner in a radiated test, then the early-time conducted tests may not be required on those cables (see 8.3.2.2 for the procedure). Moreover, conducted tests may not be necessary for antenna ports, if the antenna can be tested to the simulated HEMP stress with the antenna oriented for a maximum response. However, all ports connected to power, telecom, or other long lines must have conducted immunity tests.

HEMP immunity tests shall be conducted in accordance with a test plan that describes the equipment to be tested, the immunity test levels and waveforms, climatic conditions, major operational modes, and the criteria for passing the immunity requirements. The ambient environment (both climatic and electromagnetic) of the laboratory or HEMP test facility shall not influence the test results. During the testing it is important to monitor the equipment to classify its performance as specified in accordance with clause 9. If equipment receives and sends data to other equipment in a system, an effort shall be made to send and receive the same or simulated data to the equipment being tested. This shall allow an evaluation of the equipment performance during the test.

If the EUT does not pass the test requirements and if diagnostic measurements were made within the system or equipment, these probes and cables shall be removed, and the test shall be performed again to ensure that the added instrumentation is not the cause of the test failure. The test report shall clearly identify the presence of all external cables connected to the EUT, whether they are part of the equipment or are part of a measurement system.

The EUT shall be tested in each major operational mode that is specified in the test plan. For conducted immunity tests, both positive and negative waveforms shall be used. For radiated immunity tests, only one polarity of the waveform is required.

Laboratory tests shall be conducted with the ambient environmental conditions identified in 8.1. On-site tests are not suitable for immunity acceptance tests, but these tests may be used to verify installed equipment immunity as well as system immunity. For on-site tests, ambient conditions described in 8.1 below are desirable, but not required.

8.1 Climatic conditions

The required HEMP testing shall be carried out in standard climatic conditions in accordance with IEC 60068-1 (1988):

- temperature: 15 °C to 35 °C;
- relative humidity: 25 % to 75 %;
- atmospheric pressure: 86 kPa to 106 kPa.

Other ranges of climatic conditions shall also be considered if the equipment is designed and/or specified to operate for those conditions, or if the test will be performed outdoors. The climatic conditions shall be measured and reported in the test report.

8.2 Immunity test level and test exposures

It is important to perform some test exposures below the voltage protection level of SPDs and also at a voltage level low enough to avoid arcing within the system, since damage may occur. ~~Thus, each immunity test level shall consist of three actual test amplitudes, starting two levels below the specified immunity test level, which is assumed to be below the voltage protection level provided by the SPD and the arcing threshold.~~ Thus, each immunity test should consist of three actual test amplitudes, the immunity test level in the table, and 50 %, and 25 % of the level. The test should start at the lowest level, which is assumed to be below the voltage protection level provided by the SPD and the arcing threshold. Immunity test levels EC10 and EC11 are exceptions, since they consist of a primary level and additional sublevels. If lower levels are required to be below the voltage protection level, a lower starting test amplitude shall be specified. Each test pulse shall use the same waveform as that of the specified immunity test level.

For radiated immunity tests, an immunity test level according to table 1 shall be specified. At least two test exposures shall be performed at each of the three test amplitudes (6 exposures) for each orientation and major operational mode of the test object.

For conducted immunity tests, immunity test levels for each appropriate time regime ~~shall~~ **should** be specified (see tables 2, 3, 4 and 5). Conducted immunity tests, comprising both common mode and differential mode excitation with both positive and negative polarity waveforms, are normally required for power and telecom ports. Differential mode tests shall be conducted at the same amplitude as common mode tests. For I/O and shielded cables, differential mode tests are not necessary. At least two test exposures ~~shall~~ **should** be performed at each of the six test amplitudes (three positive and three negative pulses). **This results in a total of 12 exposures** for each major operational mode of the test object.

8.3 Radiated disturbance test procedure

8.3.1 Test parameter measurements

The climate parameters defined in 8.1 shall be measured by the test operator and documented. The characteristics of the test facility consisting of a series of measurements of the electromagnetic field waveforms within the test volume without the EUT present shall be made available to the test operator. This information shall also include an evaluation that indicates that the requirements for the field uniformity and waveform characteristics stated in 5.4.3, 5.4.4.1, or 5.4.4.2 have been met. An electric field measurement outside the test volume shall be recorded for each pulse of field illumination to observe that the amplitude of the generator is the same for each pulse.

8.3.2 Radiated test procedure

A small radiated test facility can be used to test equipment; however conducted immunity tests on all cable ports are also required. A small system may be tested in a large HEMP simulator and possibly meet the conducted immunity requirements for many cable ports. However, long lines such as a.c. power and telecommunication lines cannot be adequately tested in any HEMP simulator. Consequently, conducted immunity tests are always required for these ports.

It is recognised that the large HEMP simulator is better suited for performing system-level tests where multiple pieces of equipment may be operating together. However, it is not a requirement of this standard that system level testing be performed in such a simulator.

~~Each immunity test at a specified immunity test level consists of exposures at three exposure levels: the specified immunity test level and the next two lower levels. If only one lower level is defined by this standard, then only one level shall be used. If the lowest immunity test level is specified, then only that level of exposure is necessary for the immunity test. A minimum of two pulses of the field illumination shall be performed for each exposure level.~~

Each immunity test at a specified immunity test level consists of exposures at three test amplitudes: the specified immunity test level, and 50 %, and 25 % of the level. A minimum of two pulses of the field illumination shall be performed for each of the three exposure levels.

8.3.2.1 Small radiated test facility

The basic approach used in this procedure is to test equipment and small systems in a laboratory test facility, such as a TEM cell, anechoic chamber, or open area test facility. The EUT shall be placed on a dielectric stand at a height of $0,1 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ above the ground plane within the test volume, and all equipment cables shall be used in manner consistent with the normal operation of the equipment. A ground connection shall be made between the ground plane and the EUT, according to the manufacturer's specifications. It is necessary to control and document the lengths and positions of the cables associated with the EUT. Orient the cabling for minimum coupling to the source electric and magnetic field components in the test facility. Additional conducted immunity tests shall be performed separately to account for the coupling to these cables. The EUT shall be rotated to expose all sides (typically six sides) to the incident pulsed fields, although practical considerations may limit the number of rotations.

If the method of monitoring involves measurements within the EUT, the probes and cables involved shall be carefully positioned, so as to minimise adverse effects on the measurements. In particular, fibre optic cables without metal material are recommended for such measurements.

8.3.2.2 Large HEMP simulator procedure

A pre-test analysis is required for tests with type II simulators since these test facilities do not meet the radiated immunity specifications given in 5.4.2. The adequacy of the test shall be demonstrated by comparing the interaction and coupling results of the simulated fields with those of the theoretical pulse described by 5.4.2.

The basic approach used in this procedure is to test a large piece of equipment (or a self-contained system) to the early-time radiated HEMP environment in a large HEMP simulator. Because of the substantial test volumes available in some simulators (as big as $1\,000 \text{ m}^3$), a system and its external and interconnecting cables can be exposed simultaneously. The most significant advantage of this type of test is that different pieces of interconnected equipment can be tested during realistic operations. Moreover, in some cases it is possible to eliminate the need for equipment level tests, and thus reduce the amount of conducted immunity testing. However, all ports connected to power, telecom, or other long lines must have conducted immunity tests.

To apply this procedure, the EUT shall be placed inside of the simulator on a dielectric stand if needed, and the external system cables shall be oriented to maximise the currents induced at each point of entry (PoE) of the equipment. This shall be confirmed by measuring the currents entering each PoE. The measured currents are to be compared with the required conducted immunity test levels at each PoE. If the induced currents produced during the radiated field testing exceed the conducted disturbance immunity requirements with larger peak values, smaller rise times and larger pulse widths, and if the system continues to operate normally, then the conducted immunity test is no longer required for that PoE. If necessary, radiated tests may be performed at higher field levels to increase the induced currents at each PoE. This procedure is useful only if the system is able to operate acceptably during such an exposure. If these induced current levels cannot be achieved, a conducted immunity test shall be performed.

If needed, the EUT shall be placed on a dielectric stand at a height of $0,1 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ above the ground plane within the test volume. In the case of table-top equipment or systems, the EUT shall be placed on a dielectric stand at a height of $0,8 \text{ m} \pm 0,08 \text{ m}$ above the ground plane within the test volume. A ground connection shall be made between the ground plane and the EUT, according to the manufacturer's specifications. If possible, the EUT shall be rotated to expose all six faces to the incident fields. The short external cables that can be contained

within the test volume shall be oriented for a maximum response at each cable port during at least one of the EUT orientations.

8.4 Conducted disturbance immunity test procedure

The test procedure described in the basic standard referenced in table 6 shall be used for conducted immunity tests, except as noted below. Tests are required for all types of conductive lines (even for the longitudinal metallic part of fibre optic cables), which are connected to the system and equipment. These include power, communication, signal, control and earthing (grounding) lines.

For shielded cables, where the cable shield is bonded to a shielded enclosure at each end, the cable shield shall be driven with the required stress. If a cable is not shielded, or if the cable shield is not electrically terminated on the equipment shield, then the internal wires shall be directly driven with the stress. The bulk current on these internal wires shall meet the drive requirements.

~~Each immunity test at a specified immunity test level consists of exposures at three exposure levels: the specified immunity test level and the next two lower levels. If only one lower level is defined by this standard, then only one level shall be used. If the lowest immunity test level is specified, then only that level of exposure is necessary for the immunity test. A minimum of two positive pulses and two negative pulses shall be performed for each exposure level.~~

Each immunity test at a specified immunity test level consists of exposures at three exposure levels: the specified immunity test level, and 50 %, and 25 % of the level. A minimum of two positive pulses and two negative pulses shall be performed for each of the three exposure levels.

8.5 Test execution

The test shall be performed in accordance with a test plan. Test exposures shall be applied when the EUT is in each of its major operating modes under normal operating condition, as defined in the test plan. For each test exposure level, the pulses shall be applied with sufficient time between pulses to check for system degradation or damage. After each exposure level, the operational performance of the EUT shall be determined. If temporary degradation of the EUT is observed, the test at the exposure level at which degradation occurred shall be repeated.

8.5.1 Execution of the radiated immunity test

The radiated immunity test shall be carried out on the basis of a test plan, including the verification of the performances of the EUT, as defined in the product standard, or in its absence, by the technical specification.

The EUT shall be in the normal operating condition. A test configuration matrix consisting of the EUT operational configurations, major functional states, and orientations relative to the direction of wave propagation shall be developed. For each test configuration, the test plan shall specify

- test exposure levels: the selected immunity test level, plus the next two lower levels;
- number of exposures at each level (at least two are required);
- PoEs to be evaluated;
- description of positions of the cables and measurements to be made;
- required auxiliary equipment;
- polarity and angle of incidence of the simulated fields;
- details of the test set-up, whenever it is different from that specified in clause 7;
- pass/fail criteria.

8.5.2 Execution of the conducted immunity test

The conducted immunity test shall be carried out on the basis of a test plan, including the verification of the performances of the EUT, as defined in the product standard, or in its absence, by the technical specification.

The EUT shall be in the normal operating condition. A test configuration matrix consisting of the EUT operational configurations and major functional states shall be developed. For each test configuration, the conducted immunity test plan shall specify

- type of tests to be performed (early-time, intermediate-time, and/or late-time);
- test modes (both common and differential modes are normally required for early and intermediate time tests on cables connected to a.c. and d.c. power ports and telecom ports);
- common mode test levels: the selected immunity test level, plus the next two lower levels;
- differential mode test levels: equal to the common mode test levels;
- polarity of test voltage/current waveforms (both polarities are mandatory);
- number of required applications of each exposure level (at least two);
- EUT cable (conductor) ports to be tested;
- sequence of application of the test pulse to the EUT ports, one after the other, or two cables connected to more than one port, etc.;
- required auxiliary equipment;
- test set-up, whenever different from that specified in clause 7;
- pass/fail criteria.

NOTE Differential mode tests are recommended for power and telecom cable ports.

The test plan shall be subject to agreement between the manufacturer and test laboratory or user. Tests may be performed without probes, if these probes are suspected of modifying or otherwise interfering with the test results.

9 Test results and test reports

The test report shall include details of the EUT, test conditions, operational mode, measured test results, and equipment response for each test exposure. For radiated immunity tests, the report shall also include the measured referenced field as well as the HEMP field generator information, such as the results of diagnostic equipment calibration, field mapping within the test volume, and the time domain electric field with its associated frequency spectrum. An assessment of any adverse impacts due to fluctuations in the frequency spectrum of the electric field compared to the theoretical spectrum shall be discussed in the report.

The EUT performance shall be classified as one or more of the following:

- a) normal performance within the specification limits;
- b) temporary degradation or loss of function or performance which is self-recoverable;
- c) temporary degradation or loss of function or performance, which requires operator intervention or system reset;
- d) degradation or loss-of-function which is not recoverable due to a of loss of data or damage to equipment;
- e) degradation that can lead to a safety problem (for example fire).

For acceptance tests, the test program and the interpretation of the test results shall be described in the specific product standard. When circumstances dictate, product committees may modify the test result categories described above.

Annex A (informative)

Rationale for the immunity test levels

The immunity tests recommended in this standard have been determined by careful consideration of both the range of equipment locations and the appropriate test levels at those locations. The selection of the test levels shall be based on the level of protection at the equipment location provided by the installation conditions (building, lightning protection, etc.), as defined in IEC 61000-5-3, and the required reliability of the equipment. The levels and waveforms for HEMP radiated and conducted stresses are defined in IEC 61000-2-11 for the protection concepts identified in IEC 61000-5-3. The very high (99 %), high (90 %) and nominal (50 %) probability levels in IEC 61000-2-11 have been used to determine stresses for very high, high, and nominal equipment reliability requirements, respectively.

To simplify and reduce the number of immunity test levels, the requirements of two or more protection concepts have been combined to eliminate some levels. In addition, some conducted stresses have been modified to account for any reductions that can be expected due to likely flashovers or lightning protection provided by MV surge arresters or LV SPDs. HEMP test experience has shown that steep-front short-duration transients will flash over at a level near twice that of the 1,2/50 μs wave defined in IEC 61000-4-5. Thus, if an insulator flashes over at 110 kV for the 1,2/50 μs wave, it would flash over at about 220 kV for the steep-front short-duration HEMP-induced transients. The voltage protection level on a MV line protected by a metal-oxide varistor (MOV) lightning arrester with short leads is about three times that for 1,2/50 μs wave [1]³. For example, the voltage protection level for a 9 kV MOV surge arrester is about 40 kV for a 20 kA 1,2/50 μs wave, and the HEMP conducted disturbance would be limited to about three times 40 kV or 120 kV. Note that the voltage protection of the arrester of 120 kV is considerably less than that provided by the insulator flashing over, i.e. 220 kV.

Similarly, the voltage protection level on a LV line protected by an SPD with short leads is also about three times that for a 1,2/50 μs wave, see [2] and [3]. The higher voltage protection level for a steep-front surge is due, to a large extent, to the inductance of leads, which is approximately 1 $\mu\text{H}/\text{m}$. For information on the proper installation of SPDs to minimise lead inductance, see [2] A properly installed SPD should provide a voltage protection level equal to about four times the operating voltage for a 1,2/50 μs wave, with a surge current up to several kiloamperes, according to [2].

A.1 Radiated immunity testing levels

Levels R1, R4, and R7 are values defined by IEC 61000-2-11. Levels R2, R3, R5 and R6 are intermediate levels. Level RX corresponds to a particular electromagnetic disturbance level defined for a special application (for example, a higher level due to field enhancement near metallic structures, to ensure a larger hardening margin, etc.). Two of the levels defined by IEC 61000-2-11, (5 V/m) and (50 V/m), would not be significant as immunity test levels, and these low levels have not been used in this standard.

³ The figures in brackets refer to clause A.3.

The radiated immunity test levels are shown in table A.1. The levels are based on the protection concepts described in IEC 61000-5-3. In concept 4, 40 dB of minimum attenuation is provided by a shielded enclosure with modest RF shielding. In concepts 2 and 3, 20 dB of attenuation is provided by a concrete building with rebar, a bonded metal building or a buried structure.

Table A.1 – Radiated immunity test levels

Immunity test level	Test required for equipment and systems with the following protection	Protection concept ^a	Field peak value E_{peak} KV/m
R1	40 dB attenuation	4	0,5
R2	Intermediate value		1
R3	Intermediate value		2
R4	20 dB attenuation	2A, 2B, 3	5
R5	Intermediate value		10
R6	Intermediate value		20
R7	No field attenuation	1A, 1B	50
RX	Special applications		X

^a According to IEC 61000-5-3.

Radiated tests for intermediate and late-time HEMP are not required, since these environments will only couple significantly to very long lines, and conducted environment tests are more appropriate.

A.2 Conducted immunity test levels

The test levels for the three time regimes of the conducted disturbance are as follows:

- EC levels are related to early time HEMP conducted environments;
- IC levels pertain to intermediate time HEMP conducted environments;
- LC levels are for the late time HEMP conducted environments.

A.2.1 Early-time immunity test levels

A.2.1.1 The conducted early time HEMP environment

The classification of conducted common-mode early-time HEMP environments, as presented in IEC 61000-2-11, are shown in table A.2.

Table A.2 – Conducted common-mode early time HEMP environments

Protect concept	50 % probability V_{oc}/I_{sc}	90 % probability V_{oc}/I_{sc}	99 % probability V_{oc}/I_{sc}	Buried line V_{oc}/I_{sc}
6	5 V/0,05 A	15 V/0,15 A	40 V/0,4 A	5 V/0,05 A
5	50 V/0,5 A	150 V/1,5 A	400 V/4A	50 V/0,5 A
3 and 4	500 V/5 A	1500 V/15 A	4 kV/4 0 A	500 V/5 A
1B and 2B	20 kV/50 A	60 kV/150 A	160 kV/400 A	2,5 kV/50 A
1A and 2A	200 kV/500 A	600 kV/1,5 kA	1,6 MV/4,0 kA	25 kV/500 A

The waveform for the buried line is given as a unidirectional pulse, 25/500 ns with a source impedance of 50 Ω . Damped sinusoids with a frequency of 10 MHz are used for the conducted environment up to 4 kV from elevated lines. Transients from elevated lines equal to or above 8 kV are 10/100 ns waves in IEC 61000-2-11. However, the higher values above 8 kV in table A.3 are for cases where LV insulation breakdown or SPD responses are appropriate. These cases are all represented by 5/50 ns waves.

The high voltage transients associated with concepts 1 and 2 shown in table A2 will not be available to low voltage equipment located within buildings, due to the insulation strength of low voltage circuits and the effects of any lightning protection devices. The lightning protection is assumed to be nominal, i.e. the application of an SPD or surge arrester has less than an optimum voltage protection level. For example, for a MOV SPD having lead lengths of 0,1 m and a 50 % probability conducted environment for concept 2B of a 0,5 kA 10 x 100 ns wave described in IEC 61000-2-11, the protection voltage level is

$$(50 \text{ kA}/\mu\text{s}) \times 0,1 \mu\text{H} + 4,1 \times 690 \text{ V} = 7,8 \text{ kV}.$$

Larger surges will cause higher protection voltage levels due to the lead inductance. This level will be attenuated at points within the building, since steep-front surges suffer appreciable attenuation when propagating in power lines; reductions occur both in the amplitude and the steepness of the front [3].

For a.c. power ports connected to LV power circuits without lightning protection, the peak voltage is approximately given by two times the severe lightning level of 8 kV specified in IEC 61000-2-5 for 120-690 V a.c. power circuits. The 8 kV level is near the voltage limit for building power circuits, due to the flashover clearances. However, for the 90 % and 99 % probability cases in concepts 1A and 2A, a factor of 2,5 times the severe lightning level is conservatively used. The values based on the rationale of limiting voltage peaks on low voltage circuits are shown in table A.3.

Table A.3 – Early time HEMP conducted environments on LV circuits
(low-voltage circuits up to 1 000 V)

Protect concept	50 % probability V_{oc}/I_{sc}	90 % probability V_{oc}/I_{sc}	99 % probability V_{oc}/I_{sc}	Buried line V_{oc}/I_{sc}
6	5 V/0,05 A	15 V/0,15 A	40 V/0,4 A	5 V/0,05 A
5	50 V/0,5 A	150 V/1,5 A	400 V/4A	50 V/0,5 A
3 and 4	500 V/5 A	1500 V/15 A	4 kV/4 0 A	500 V/5 A
1B and 2B	8 kV/160 A	16 kV/160 A	16 kV/160 A	8 kV/160 A
1A and 2A	16 kV/320 A	20 kV/320 A	20 kV/320 A	25 kV/200 A

Input and output (I/O) data lines and d.c. power lines are assumed to be unshielded internal building cables up to 100 m in length. Electrical insulation strength is assumed equal to LV power circuits. For lines less than 100 m in length, the peak voltage may be reduced proportionally. For example, a 50 m line can be expected to be subjected to half the impulse voltage of a 100 m line.

The early-time HEMP conducted environments for various applications are presented in table A.4.

Table A.4 – Conducted environments for early time HEMP

Protection concept	Equipment location	Probability for long lines (percent)	Conducted disturbance AC power	Conducted disturbance Telecom	Conducted disturbance I/O data ports d.c. power
5	Within a room or building with good RF shielding (60 dB) and PoE protection	99	400 V	400 V	80 V
4	Within a room or building with nominal to good RF shielding (40 dB) and nominal over-voltage and EMI protection	90	2 kV	2 kV	1 kV
2B	Within a structure with rebar shielding (20 dB) and nominal lightning protection at the a.c. main	50	8 kV	8kV limited by gas-tube or other protection	2 kV
1A	Within a poorly shielded building or residence without lightning protection on the secondary (LV) distribution power line	50 99	16 kV 25 kV ^a	8kV limited by gas-tube or other protection	12 kV
1B	Directly connected to the primary voltage (MV) distribution power line with nominal lightning protection	90	160 kV ^b	-----	-----
NOTE Protection concepts (indoors) are a combination of probable flashover effects and the protection concepts in IEC 61000-2-11.					
^a For underground lines without insulation breakdown. Insulation breakdown may modify the actual disturbance.					
^b For equipment directly connected to a medium voltage (1-35 kV) distribution power line. If lightning protection is not used, use a level of twice the basic insulation level (BIL) for the 1,2/50 µs impulse but not exceeding 1,6 MV. The source impedance should be 400 ± 100 Ω.					

A.2.1.2 Selection of immunity test levels

Stresses with current amplitudes less than 0,5 A are not considered to be significant as an immunity test level.

- Test level EC1 with a short circuit current of 1 A is used to test all well-protected equipment telecom and data ports for concepts 5 and 6.
- Test levels EC2 and EC3 are used to test 120 V and 240 V a.c. power ports, respectively, for concepts 5 and 6.
- Test level EC4 corresponds to levels defined in IEC 61000-2-11 for concept 3 or 4 at a 50 % probability, i.e. there is a 50 % probability that the conductance disturbance for concept 3 will be equal to or less than the value presented in IEC 61000-2-11. Test level EC4 also corresponds to concept 5 at a 99 % probability.
- Test levels EC5 and EC6 correspond to levels defined for concept 3 or 4 at a 90 % and 99 % probability respectively, while EC7 also corresponds to concept 4 at a 99 % probability.
- Test level EC8 corresponds to a level defined in IEC 61000-2-11 for concept 1B or 2B, but it includes the likely effects of exceeding the circuit insulation breakdown level *and* the voltage protection level associated with lightning protection, i.e. secondary-voltage SPDs.
- Level EC9 is for testing equipment located at the power main in buildings without LV lightning protection.

- Level EC10 is for testing equipment located in buildings having underground power service and without LV lightning protection at the power main.
- Level EC11 is for testing equipment directly attached to a primary distribution power line with lightning protection.
- Other levels are intermediate values.

The selected test levels are shown in table 2.

The test levels map to table A.3 as shown in table A.5.

Table A.5 – Early time HEMP conducted environments immunity test levels for LV circuits (low-voltage circuits up to 1000 V)

Protection concept	50 % probability	90 % probability	99 % probability	Buried line
6	-----	-----	EC1	-----
5	EC1	EC2	EC3	-----
3 and 4	EC4	EC5	EC6 EC7	EC10 at 1 kV
1B and 2B	EC8	EC9	EC9	EC10 at 8 kV
1A and 2A	EC9	EC11 at 20 kV	EC11 at 20 kV	EC10

The early-time HEMP conducted environment immunity test levels for various applications are presented in table A.6.

Table A.6 – Example early time HEMP immunity test levels for various applications.

Protection concepts	Equipment location	Probability for long lines (percent)	Conducted disturbance a.c. power	Conducted disturbance Telecom	I/O data ports
6 (indoors)	Within a room with excellent RF shielding (80 dB) and POE protection (80 dB)	99	EC4	EC1	-----
5 (indoors)	Within a room or building with good RF shielding (60 dB) and POE protection	99	EC4	EC3	EC1
4 (indoors)	Within a room or building with nominal to good RF shielding (40 dB) and nominal over-voltage and EMI protection	90	EC5	EC5	EC4
2B (indoors)	Within a structure with rebar and nominal lightning protection at the a.c. main	50	EC8	EC8	EC5
1A (indoors)	Within a poorly shielded building or residence without lightning protection on the secondary distribution power line	50 99	EC9 EC10 ^a	EC8 EC10 ^a	EC9
1B (outdoors)	Directly connected to the primary voltage distribution power line with nominal lightning protection	90	EC 11	-----	-----
NOTE 1 The shielding associated with the protection concepts are listed in IEC 61000-2-11, table 1. Level EC4 is the minimum recommended level for power ports due to the normal level of transients observed on power circuits.					
NOTE 2 Protection concepts (indoors) are a combination of probable flashover effects and the protection concepts in IEC 61000-2-1.					
^a For buildings with underground lines. For secondary power distribution with lightning protection and telecom lines with gas-tube protection, reduce the level to 8 kV.					

A.2.2 Intermediate-time immunity test levels

Standard lightning protection will provide adequate protection against the intermediate time HEMP conducted disturbance. For the HEMP protection concepts where lightning protection is not used, these transients must be considered. According to EC 61000-2-11, the peak voltage of the conducted environment is 160 kV and the transient waveform is approximated by a 25/1 500 μ s wave. The flashover level for switching surges, which have waveforms similar to the 25/1 500 μ s wave, is approximately equal to 80 % of the flashover level for a 1,2/50 μ s impulse. Thus, the transients at electrical outlets will be about 4,8 kV (80 % of 6 kV). For a nominal level of confidence, 4 kV is selected. The waveform will be altered by the flashover, causing both the rise time and the fall time to be shorter. The 10/700 μ s waveform is selected to represent the stress on equipment in buildings without lightning protection on a.c. power. For telecom lines, gas-tube protectors should provide adequate protection.

A.2.3 Late-time immunity test levels

The conducted late-time HEMP disturbance is characterised as a quasi-dc, unidirectional current waveform having a 1/50 s shape. This disturbance will occur only in long conducting lines that are connected to earth at both ends. For power lines, such earthing is accomplished through the windings of three-phase wye transformers or single-phase transformers. The direct effects of this late time HEMP disturbance will not likely effect equipment connected to low voltage secondary power circuits, since the quasi-dc current passing through the transformer from a primary distribution circuit to a low-voltage outlet will be approximately zero. Many power systems, such as those in much of Europe, use delta wound three-phase transformers to distribute power to single-phase and three-phase loads. These circuits do not provide an earth connection at both ends of the primary circuit. For power systems that use single-phase and wye-winding transformers, the quasi-dc current available at the low voltage outlet will be small (on order of a few mA). Therefore, quasi-dc tests for the a.c. power ports of low-voltage equipment are not required. However, indirect effects of late time HEMP at the low-voltage outlet should be considered for HEMP immunity requirements. These indirect effects include the generation of power frequency harmonics and voltage swings. An experiment with a saturated 75 kVA distribution transformer resulted in power frequency harmonics of about 5 % to 8 % of the fundamental voltage for the first few harmonics [4].

For equipment directly connected to MV primary distribution and HV transmission power circuits as well as telecommunication circuits, the quasi-dc disturbance should be considered. The maximum level of quasi-dc current I (in amperes) is given by $I = (L \times 40 \text{ V/km})/R$, where R is the total circuit resistance and L is the line length, in kilometers. Approximate values for the short circuit current and the open circuit voltage have been determined in IEC 61000-2-11. A typical primary distribution power circuit late-time current is 12 A. This is for a circuit consisting of a 10 MVA substation transformer with a 0,01 Ω winding resistance, a 0,5 Ω substation earthing resistance, a 10 km line with 2,5 Ω resistance, a 25 kVA distribution transformer with 10 Ω primary winding resistance, and a 20 Ω earthing resistance at the distribution transformer. If the transformer is the object under test, then the open-circuit voltage is 400 V and the short-circuit current is 23 A.

For a typical transmission system with resistances of 0,02 Ω /km for each phase conductor, 0,15 Ω winding resistance for two series connected transformers, and 0,25 Ω for each substation ground, the open-circuit voltage for a 100 km line is 4 000 V and the short-circuit current is $4\,000\text{V}/2,8\ \Omega$ or 1 429 A. The short-circuit current at one of the transformers is $4\,000\text{V}/2,65\ \Omega$ or 1 509 A. The values from the above examples and from IEC 61000-4-11 have been used to develop the test levels in table 4.

A.3 Reference Documents

- [1] Miller D. B., *Experimental Investigation of Steep-Front Short Duration (SFSD) Surge Effects on Power Systems Components*, ORNL-/Sub/87-91345, Lockheed Martin Energy Research Corporation, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, May 1992.
- [2] IEC 61643-12, *Surge protective devices connected to low-voltage power distribution systems – Part 12: Selection and application principles*⁴
- [3] Martzloff F. D. and Wilson P. F., *Fast transient tests – trivial or terminal pursuit*, Proceedings, EMC Zurich Symposium, 1987.
- [4] McConnell B. W., *et al.*, *Impacts of Quasi-dc Currents on Three-Phase Distribution Transformer Installations*, ORNL/Sub/89-SE912/1, Lockheed Martin Energy Research Corporation, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, June 1992.

⁴ To be published

- [5] Barnes P. R. and Hudson T. L., *Steep-Front Short-Duration Voltage Surge Tests of Power Line Filters and Transient Voltage Suppressors*, *IEEE Transactions on Power Delivery*, Vol. 4, No. 2, April 1989.
- [6] Barnes P. R., *et al.*, *Electromagnetic Pulse Research on Electric Power Systems – Program Summary and Recommendations*, ORNL-6708, Lockheed Martin Energy Research Corporation, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, January 1993.

Annex B (informative)

Conducted immunity tests for antennas

The near worst-case peak response of a vertical electric monopole to the HEMP early-time waveform is considered below. The waveforms for the conducted environments at antenna ports are damped sinusoids with a frequency approximately equal to the designed centre frequency f_c of the antenna.

A simple form for the damped sinusoid load current response for a dipole (or monopole) antenna is given by equation (3) in IEC 61000-2-10 as

$$I_L = kI_{\text{peak}} e^{-\eta t} \sin(2\pi f_c t) \quad (3)$$

where

k is a normalizing factor,

η is a function of f_c and the antenna damping parameter Q .

The response waveform typically decreases to near zero after four cycles through an antenna load of 50 Ω . If a high-gain antenna is used, the peak values should be multiplied by the appropriate antenna gain evaluated at the antenna designed centre frequency f_c . The source impedance for an antenna conducted disturbance simulator is 50 Ω .

The open-circuit voltage response V_a is approximately given by

$$V_a = kV_{\text{peak}} e^{-\eta t} \sin(\omega t) \quad (4)$$

where

$$V_{\text{peak}} = kI_{\text{peak}},$$

$$\omega = 2\pi f_c \text{ and}$$

η is approximately equal to $0,5f_c$.

V_{peak} can be estimated from table 4 of IEC 61000-2-10. A 30 % dip angle and a 90 % severity are used as a reasonably severe case.

Applying table 4, V_{peak} is approximately given in kilovolts for VHF and UHF antennas by

$$V_{\text{peak}} = 1\,800 / f_c \quad (5)$$

where

f_c is in MHz.

The value of k in equation (4) is

$$k = 10^{(G-g)/10} \quad (6)$$

G is the gain of the antenna over a half-wave dipole, in decibels,

g is equal to 3 dB to account for the quarter-wave monopole values used above.

If the antenna gain is referenced to an isotropic radiator, then a value of 5 dB should be used for g .

The approximate V_{peak} values for selected communications bands are listed below:

For the VHF low-band (30 MHz): $V_{\text{peak}} = 60 \text{ kV}$

For the VHF low-band (50 MHz): $V_{\text{peak}} = 36 \text{ kV}$

For the VHF high-band (150 MHz): $V_{\text{peak}} = 12 \text{ kV}$

For the UHF band (220 MHz): $V_{\text{peak}} = 8 \text{ kV}$

For the UHF high-band (450 MHz): $V_{\text{peak}} = 4 \text{ kV}$

For antennas with nominal lightning protection with a d.c. voltage breakdown of about 1 500 V, use $V_{\text{peak}} \geq 4 \text{ kV}$.

Annex C (informative)

Conducted disturbance immunity tests

The test generators, set-up and procedures for conducted disturbance immunity tests are the same as those required by the basic standards referenced in table 6. Levels EC10, EC11 and LC1 – LC4 are referenced to this standard and specifications for the test generators are presented in 6.2.1.1, 6.2.1.2, and 6.2.1.3. Descriptive information for these immunity test levels is presented in this annex.

C.1 EC10 and EC11

A general block diagram for the test set-up for the EC10 and EC11 level is shown in figure C.1. The height of the insulating support for the EUT shall be $0,1 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ above the ground plane. In the case of tabletop equipment or systems, the EUT shall be placed at a height of $0,8 \text{ m} \pm 0,08 \text{ m}$ above the ground plane. A ground connection shall be between the ground plane and the EUT according to the manufacturer's specification. The minimum distance between the EUT and other conducting surfaces is $0,5 \text{ m}$. The test set-up, instrumentation requirements, and test procedure for these levels are similar to those in IEC 61000-4-4.

A simplified circuit diagram of a pulse generator and the pulse waveform for immunity test level EC10 are shown in figures C.2 and C.3, respectively. For details on the circuit elements in figure C.2, see IEC 61000-4-4. The values of these elements will have to be modified as appropriate to achieve the waveform in figure C.3. An example of a circuit diagram for an EC11 generator is shown in figure C.4. The waveform for EC11 is shown in figure C.5. For information on the circuit elements in figure C.4, is given in [1]⁵.

C.2 LC immunity tests

The late-time conducted immunity test generator and pulse waveform are shown in figures C.6 and C.7 respectively. For immunity test levels LC1 and LC2, a generator can be designed around a capacitor charged to a d.c. voltage level and discharged into the EUT with appropriate coupling and de-coupling circuits. For LC3 and LC4, a battery d.c. source is a possible approach for the design of the slow pulse generator. For energised circuits, coupler and de-coupler networks will be required to prevent damage to the slow pulse generator from the a.c. or d.c. power and to prevent the slow pulse from propagating into the power source.

C.3 Reference documents

- [1] Ramus A., *Design Concepts for a Pulse Power Test Facility to Simulated EMP Surges in Overhead Power Lines – Part I Fast Pulse*, ORNL/Sub/84-89642/1, Lockheed Martin Energy Research Corporation, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, February 1986.

⁵ Figures in brackets refer to clause C.3.

- [2] Dethlefsen R., *Design Concepts for a Pulse Power Test Facility to Simulated EMP Surges in Overhead Power Lines – Part II Slow Pulse*, ORNL/Sub/84-89642/2, Lockheed Martin Energy Research Corporation, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, October 1985.⁶

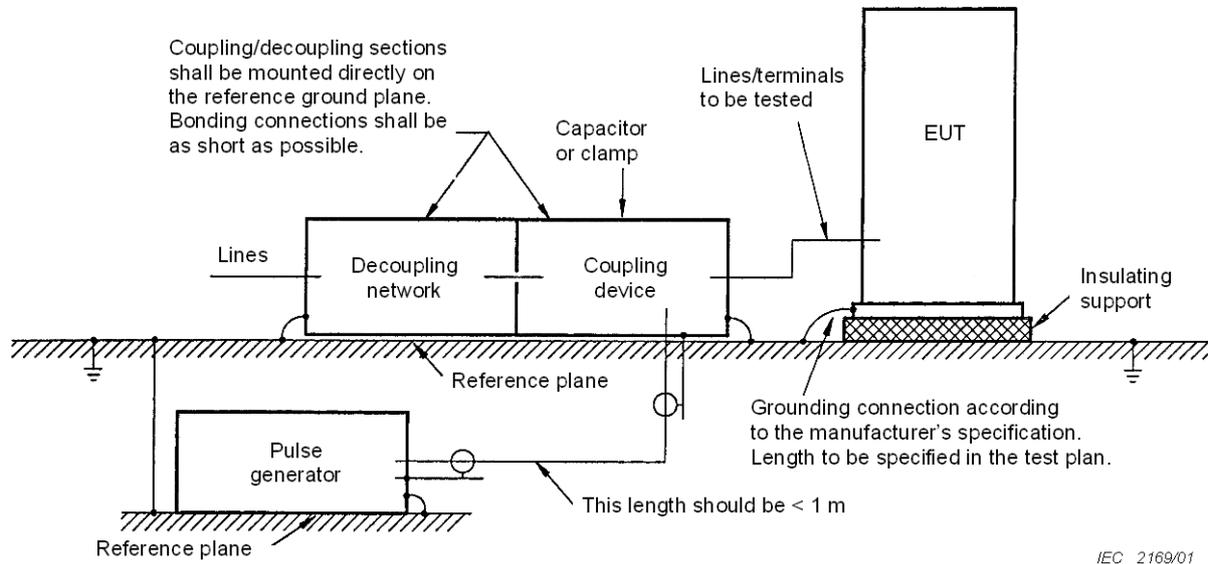
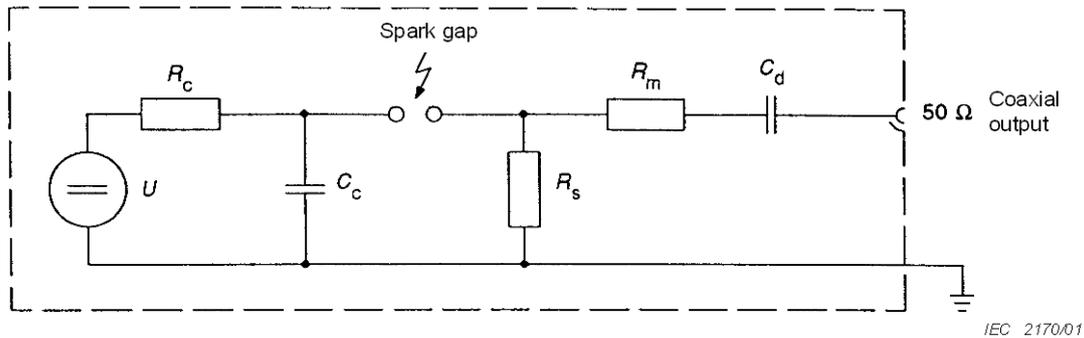


Figure C.1 – Block diagram for EC10 and EC11 immunity tests



Key:

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

Figure C.2 – Example of a simplified circuit diagram of a fast transient/burst generator

⁶ The above referenced documents are available from: National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, 5285 Port Royal Road, Springfield, Virginia 22161.

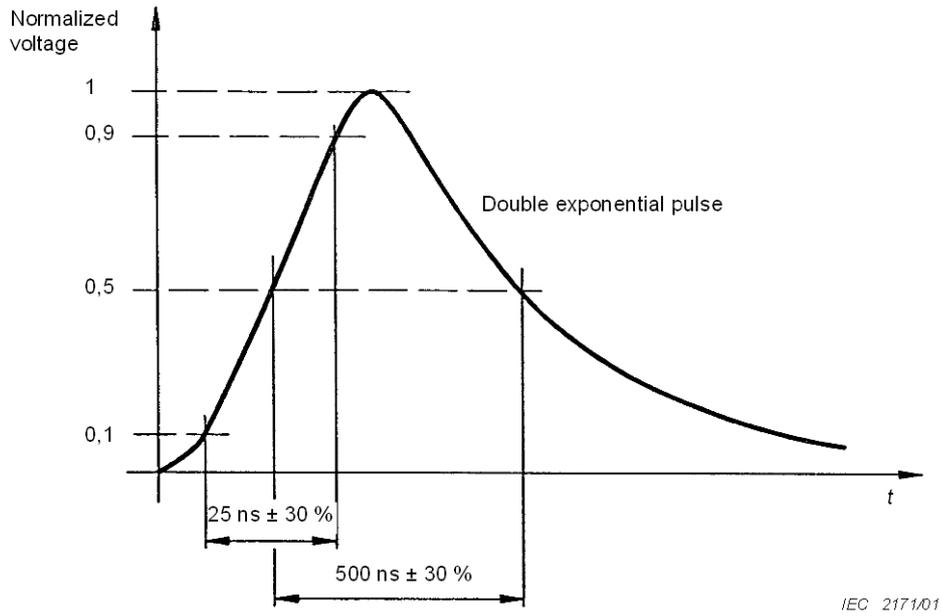


Figure C.3 – Waveshape of an EC10 pulse into a 50 Ω load

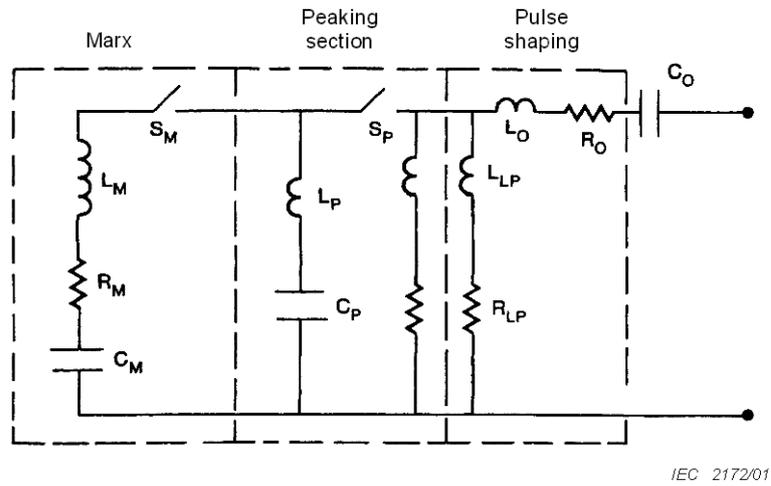


Figure C.4 – Example of an EC11 generator (see clause C.1 for details)

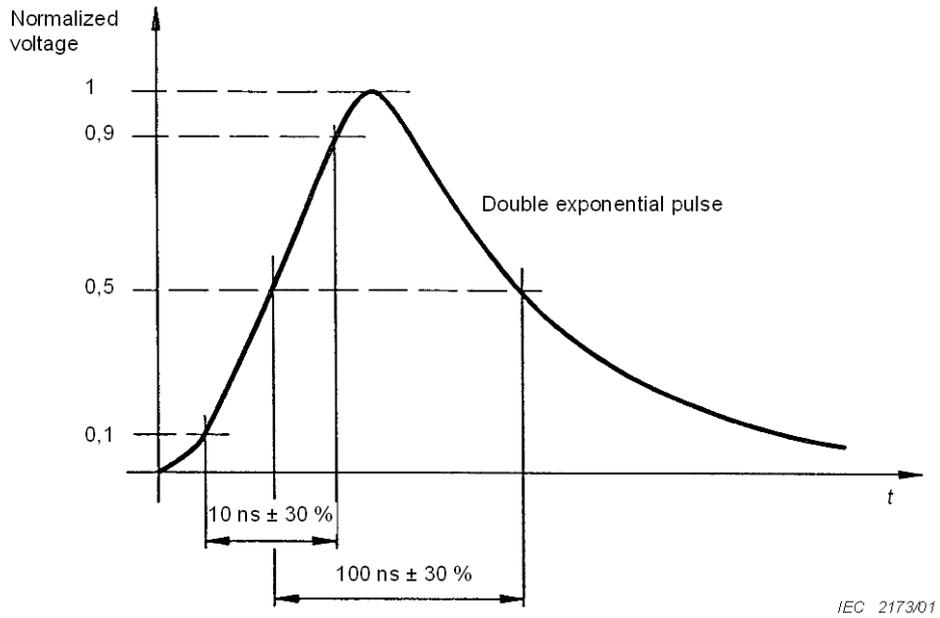


Figure C.5 – Waveshape of an EC11 pulse into a 50 Ω load

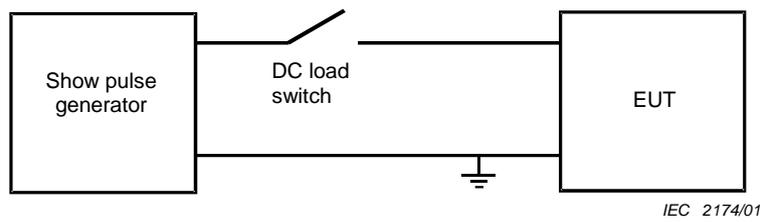


Figure C.6 – Simplified block diagram for LC immunity test levels

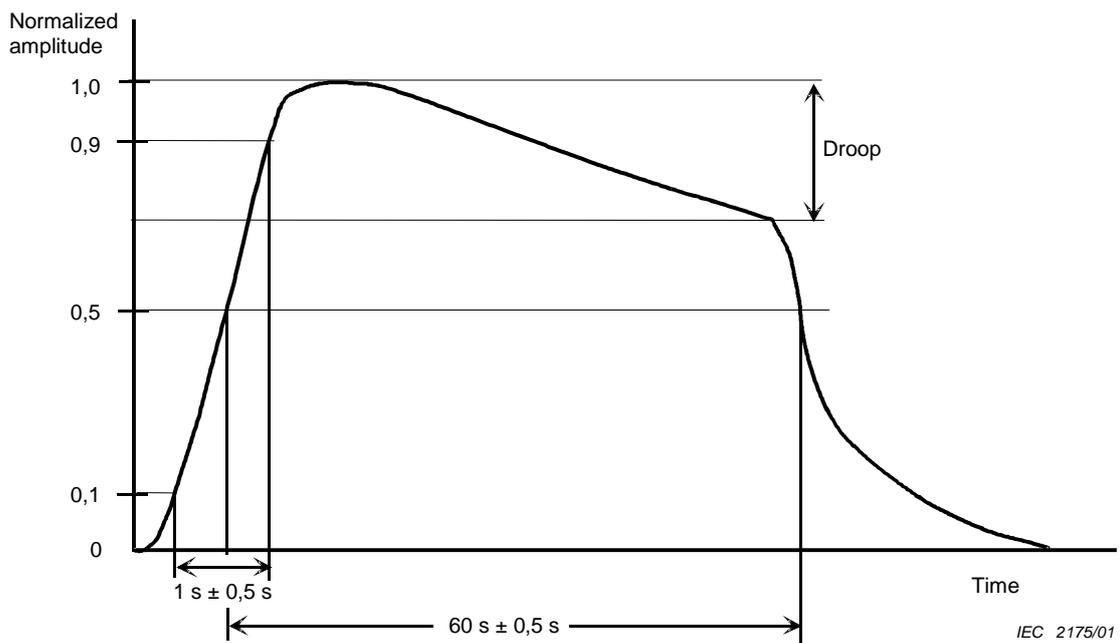


Figure C.7 – Waveshape of the LC slow pulse

Annex D
(normative informative)

Damped oscillatory wave test

IEC 61000-2-11 identifies a 10 MHz damped oscillatory wave for the low level conducted environment. Actual system responses will result in frequencies below and above 10 MHz, ranging from about 1 MHz to 100 MHz, with 1 MHz and 10 MHz likely to be dominate in many systems. ~~This annex describes a modification to the ISO test to meet the requirements for HEMP immunity testing. A German and a US/NATO standard are also presented as alternatives to the ISO test.~~ This standard uses IEC 61000-4-18 for the damped oscillatory wave test. This annex describes other pulse injection tests that have been used for HEMP immunity testing. An ISO test as well as a German and a US/NATO standard are presented below for informative purposes.

D.1 ISO 7137

The test procedure in ISO 7137 for ~~the a~~ damped oscillatory wave ~~test~~ is test method 3.8 used for lightning induced transient susceptibility. The ISO document references a joint EUROCAE and RTCA document for this test. The damped oscillatory wave is waveform number 3, and the test method is described in Subsection 22.5.2.1 of Section 22 of EUROCAE/ED-14C and RTCA/DO-160C, amended in accordance with revision No. 2 (1992-06-19). Test procedures are described for both shielded and unshielded cable bundle tests. See reference [1] in Clause D.4 for a description of this test.

Table D.1 – ISO 7137 test procedure reference number 3.8

Immunity test level	V_{oc} V	I_{sc} A	Waveform frequencies (waveform number 3) MHz	Approximate range for Q^a	Severity level in the basic standard ^b
EC1	100	1	1 and 10	6-33	Not applicable
EC2	250	2,5	1 and 10	6-33	Not applicable
EC3	500	5	1 and 10	6-33	Not applicable
EC4	1 000	10	1 and 10	6-33	Not applicable
EC5	2 000	20	1 and 10	6-33	Not applicable
EC6	4 000	40	1 and 10	6-33	Not applicable

^a Adjust Q to vary between 5-20.
^b Adjust the generator open-circuit voltage and short-circuit current to the values shown in table D.1.

Two alternate tests are presented in clauses D.2 and D.3.

D.2 VG 96-903, Part 70

The German VG standard provides a method for direct injection testing. The test method and injection generator are described in ~~clause D.4~~, references ~~[1] and [2] and [3]~~ in Clause D.4.

Table D.2 – VG current injection test

Immunity test level	V_{oc} ^a V	I_{sc} ^a A	Waveform frequencies MHz	Approximate range for Q	Limiting value class in the VG standard
EC1	100	1	10, 30 and 70	15	3
EC2 ^b	250	2,5	10, 30 and 70	15	Not available
EC3 ^b	500	5	10, 30 and 70	15	Not available
EC4	1 000	10	10, 30 and 70	15	2
EC5 ^b	2 000	20	10, 30 and 70	15	Not available
EC6 ^b	4 000	40	10, 30 and 70	15	Not available

^a The amplitudes for 30 MHz and 70 MHz are 35 % and 15 % of that for 10 MHz respectively.

^b Adjust the generator open-circuit voltage and short-circuit current to the values shown in table D.2.

NOTE For very low impedance cable shields, use the short-circuit current.

D.3 MIL-STD-461-E, conducted susceptibility (CS116)

This test provides for current injection without regard to the required voltage. To use this standard, the injected current should be half the short-circuit current shown in the table, assuming that the generator impedance is adjusted to be equal to the load. This standard is described in ~~[3]~~ reference [4] of Clause D.4.

Table D3 – MIL-STD-461-E

Immunity test level	V_{oc} V	I_{sc} A	Waveform frequencies MHz	Approximate range for Q	Current level in MIL-STD-461-E standard A
EC1	100	1	1, 10 and 30	15 ± 5	0,5
EC2*	250	2,5	1, 10 and 30	15 ± 5	1,25
EC3*	500	5	1, 10 and 30	15 ± 5	2,5
EC4	1 000	10	1, 10 and 30	15 ± 5	5
EC5*	2 000	20	1, 10 and 30	15 ± 5	10
EC6*	4 000	40	1, 10 and 30	15 ± 5	20

NOTE For very low impedance cable shields, use the short-circuit current.

D.4 Reference documents

- [1] *ISO 7137:1995, Aircraft – Environmental conditions and test procedures for airborne equipment*
 - [4 2] VG 96-903, Part 78, *Nuclear electromagnetic pulse (HEMP) and lightning protection: Test Methods, test equipment and limiting values – Test method LF 78, direct injection of HEMP interference into cables and cable harnesses of general purpose equipment*, November, 1988.
 - [2 3] VG 96-903, Part 70, *Nuclear electromagnetic pulse (HEMP) and lightning protection: Test Methods, test equipment and limiting values – Test method LF 70, direct injection of HEMP interference into terminals*, November, 1988.
 - [3 4] MIL-STD-461E, *Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment, Section 5.14, CS116, Conducted susceptibility, damped sinusoidal transients, cables and power leads, 10 kHz to 100 MHz*, 20 August 1999.
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	50
INTRODUCTION.....	52
1 Domaine d'application.....	53
2 Références normatives	53
3 Définitions	54
4 Généralités.....	58
5 Essais d'immunité et niveaux de sévérité	58
5.1 Introduction	58
5.2 Essais d'immunité.....	58
5.3 Niveaux de sévérité	59
5.4 Essais de perturbations rayonnées	59
5.4.1 Niveaux de sévérité des essais de perturbations rayonnées	59
5.4.2 Spécifications des essais d'immunité aux perturbations rayonnées.....	60
5.4.3 Dispositifs d'essai aux rayonnements de petite dimension	60
5.4.4 Simulateurs IEMN-HA de grande taille.....	61
5.4.5 Prescriptions pour le spectre de domaine fréquentiel.....	63
5.5 Essais de perturbations conduites.....	63
5.5.1 Niveaux de sévérité des essais de perturbations conduites.....	63
5.5.2 Spécifications des essais d'immunité aux perturbations conduites	67
6 Matériel d'essai	68
6.1 Essais de champs rayonnés.....	68
6.1.1 Générateur de champ rayonné	68
6.1.2 Instrumentation.....	68
6.2 Essais de perturbations conduites.....	69
6.2.1 Générateur d'essai	69
6.2.2 Instrumentation.....	71
7 Configuration d'essai	71
7.1 Essai aux perturbations rayonnées	71
7.2 Essai aux perturbations conduites.....	72
8 Procédure d'essai	72
8.1 Conditions climatiques.....	73
8.2 Niveau de sévérité et expositions d'essai	73
8.3 Procédure d'essai pour les perturbations rayonnées.....	74
8.3.1 Mesures des paramètres d'essai.....	74
8.3.2 Procédure d'essai des perturbations rayonnées.....	74
8.4 Procédure d'essai d'immunité aux perturbations conduites	76
8.5 Exécution de l'essai.....	76
8.5.1 Exécution de l'essai d'immunité aux perturbations rayonnées	76
8.5.2 Exécution de l'essai d'immunité aux perturbations conduites	77
9 Résultats d'essai et rapports d'essai	77
Annexe A (informative) Notes explicatives concernant les niveaux d'essai	79
Annexe B (informative) Essais d'immunité aux perturbations conduites applicables aux antennes	88

Annexe C (informative) Essais d'immunité aux perturbations conduites	90
Annexe D (normative informative) Essai d'onde oscillatoire amortie	94
Figure 1 – Amplitude dans le domaine fréquentiel entre 100 kHz et 300 MHz	60
Figure C.1 – Schéma fonctionnel pour les essais d'immunité EC10 et EC11	91
Figure C.2 – Exemple de schéma de circuit simplifié d'un générateur de transitoires rapides/salves	91
Figure C.3 – Forme d'onde d'une impulsion EC10 sur une charge de 50 Ω	92
Figure C.4 – Exemple de générateur EC11 (voir article C.1 pour les détails)	92
Figure C.5 – Forme d'onde d'une impulsion EC11 sur une charge de 50 Ω	93
Figure C.6 – Schéma fonctionnel simplifié pour les niveaux de sévérité LC	93
Figure C.7 – Forme d'onde d'impulsion lente LC	93
Tableau 1 – Niveaux des essais d'immunité aux perturbations rayonnées définies dans cette norme	59
Tableau 2 – Niveaux d'essai d'immunité aux perturbations conduites initiales	64
Tableau 3 – Niveaux d'essai d'immunité aux perturbations IEMN-HA conduites intermédiaires	66
Tableau 4 – Niveaux d'essai pour environnements à perturbations conduites IEMN-HA finales	67
Tableau 5 – Essais pour les effets des environnements à perturbations IEMN-HA conduites finales pour les accès en courant alternatif à basse tension	67
Tableau 6 – Spécifications pour l'essai d'immunité aux perturbations IEMN-HA conduites	68
Tableau A.1 – Niveaux d'essai d'immunité aux perturbations rayonnées	80
Tableau A.2 – Environnements à perturbations IEMN-HA conduites initiales en mode commun	81
Tableau A.3 – Environnements à perturbations IEMN-HA conduites initiales dans les circuits BT (circuits basse tension jusqu'à 1 000 V)	82
Tableau A.4 – Environnements à perturbations conduites IEMN-HA initiales	83
Tableau A.5 – Niveaux d'essai des environnements à perturbations conduites IEMN-HA initiales pour les circuits BT (Circuits basse tension jusqu'à 1000 V)	84
Tableau A.6 – Exemple de niveaux d'essai de perturbations IEMN-HA initiales pour différentes applications	85
Tableau D.1 – Procédure d'essai numéro 3.8 de l'ISO 7137	94
Tableau D.2 – Essai d'injection de courant VG	95
Tableau D.3 – MIL-STD-461-E	95

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-25: Techniques d'essai et de mesure – Méthodes d'essai d'immunité à l'IEMN-HA des appareils et des systèmes

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.

Cette version consolidée de la CEI 61000-4-25 comprend la première édition (2001) [documents 77C/113/FDIS et 77C/117/RVD] et son amendement 1 (2012) [documents 77C/216/FDIS et 77C/218/RVD]. Elle porte le numéro d'édition 1.1.

Le contenu technique de cette version consolidée est donc identique à celui de l'édition de base et à son amendement; cette version a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1. Les ajouts et les suppressions apparaissent en rouge, les suppressions sont barrées.

La Norme internationale CEI 61000-4-25 a été établie par le sous-comité 77C: Phénomènes transitoires de forte intensité, du comité d'études 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique.

Elle constitue la partie 4-25 de la CEI 61000. Elle a le statut de publication fondamentale en CEM conformément au Guide 107 de la CEI.

~~L'annexe D fait partie intégrante de cette norme.~~

Les annexes A, B, C et D sont données uniquement à titre d'information.

Le comité a décidé que le contenu de la publication de base et de ses amendements 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. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer 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 de la responsabilité des comités de produits)

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure

Techniques de mesure

Techniques d'essai

Partie 5: Guide d'installation et d'atténuation

Guides 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 en tant que sections. D'autres seront publiées sous le numéro de la partie, suivi d'un tiret et complété d'un second chiffre identifiant la subdivision (exemple: 61000-6-1).

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-25: Techniques d'essai et de mesure – Méthodes d'essai d'immunité à l'IEMN-HA des appareils et des systèmes

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61000 décrit les niveaux d'essai pour l'immunité et les méthodes d'essai correspondantes applicables aux appareils et aux systèmes électriques et électroniques exposés à l'environnement des impulsions électromagnétiques nucléaires à haute altitude (IEMN-HA). Elle définit des gammes de niveaux d'essai pour l'immunité ainsi que les procédures d'essai. Cette norme définit également les spécifications pour les matériels et la configuration d'essai, les procédures d'essai, les critères d'acceptation ou de rejet et les prescriptions pour la documentation d'essai. Ces essais sont destinés à démontrer l'immunité des appareils électriques et électroniques aux perturbations électromagnétiques IEMN-HA rayonnées et conduites. Pour les essais d'immunité aux perturbations rayonnées, cette norme définit des spécifications à la fois pour les dispositifs d'essai de petite dimension et les simulateurs IEMN-HA de grande taille.

La présente partie de la CEI 61000 définit les spécifications pour les essais d'immunité en laboratoire. Elle spécifie également des essais sur site pour vérifier l'immunité des appareils une fois installés. Ces essais utilisent les mêmes spécifications que les essais en laboratoire, sauf en ce qui concerne les aspects climatiques de l'environnement.

L'objectif de cette partie de la CEI 61000 est d'établir une base commune et reproductible pour l'évaluation des performances des appareils électriques et électroniques, lorsqu'ils sont soumis à l'environnement d'IEMN-HA rayonnées ainsi que de transitoires conduits associés sur les réseaux d'alimentation électrique, les antennes, les signaux d'entrée/sortie (E/S) et les lignes de service.

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60050(161), *Vocabulaire Électrotechnique International – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

CEI 60038, *Tensions normales de la CEI*

CEI 60068-1:1988, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et guide*

CEI 61000-2-5, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Environnement – Section 5: Classification des environnements électromagnétiques*. Publication fondamentale en CEM

CEI 61000-2-9, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2: Environnement – Section 9: Description de l'environnement IEMN-HA – Perturbations rayonnées*. Publication fondamentale en CEM

CEI 61000-2-10:1998, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2-10: Environnement – Description de l'environnement IEMN-HA – Perturbations conduites*

CEI 61000-2-11, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2-11: Environnement – Classification de l'environnement IEMN-HA*. Publication fondamentale en CEM

CEI 61000-4-4, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 4: Essais d'immunité aux transitoires électriques rapides en salves*. Publication fondamentale en CEM

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

CEI 61000-4-11, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 11: Essais d'immunité aux creux de tension, coupures brèves et variations de tension*

~~CEI 61000-4-12, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4: Techniques d'essai et de mesure – Section 12: Essais d'immunité aux ondes oscillatoires*~~

CEI 61000-4-13, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-13: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'immunité aux harmoniques, interharmoniques, incluant les signaux transmis sur le réseau électrique alternatif* – Publication fondamentale en CEM¹

~~CEI 61000-4-18, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-18: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité à l'onde oscillatoire amortie*~~

CEI 61000-4-20, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-20: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'émission et d'immunité dans des guides d'ondes TEM[†]*

~~CEI 61000-4-33, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-33: Testing and measurement techniques – Measurement methods for high-power transient parameters* (disponible en anglais seulement)~~

CEI 61000-5-3, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5-3: Guides d'installation et d'atténuation – Concepts de protection IEMN-HA*

CEI 61000-5-4/TR, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 5-4: Guides d'installation et d'atténuation – Dispositifs de protection contre les perturbations rayonnées IEMN-HA*. Publication fondamentale en CEM

CEI 61024-1, *Protection des structures contre la foudre – Première partie: Principes généraux*

~~ISO 7137, *Aéronefs – Conditions d'environnement et procédures d'essai pour les équipements embarqués*~~

3 Définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 61000, les définitions suivantes s'appliquent.

3.1

niveau de compatibilité

niveau de perturbation électromagnétique utilisé comme niveau de référence pour assurer la coordination de l'établissement des limites d'émission et d'immunité

[VEI 161-03-10]

¹ A publier.

3.2

couplage (IEMN-HA)

interaction entre les champs électromagnétiques et un système pour produire les courants et les tensions sur les surfaces et les câbles du système

3.3

pince de couplage

dispositif de dimensions et caractéristiques définies pour le couplage en mode commun du signal de perturbation au circuit en essai sans connexion galvanique avec celui-ci

3.4

réseau de couplage

circuit électrique pour le transfert d'énergie d'un circuit vers un autre circuit

3.5

réseau de découplage

circuit électrique destiné à empêcher que les surtensions appliquées à l'appareil en essai ne perturbent d'autres dispositifs, appareils ou systèmes, qui ne sont pas soumis à l'essai

3.6

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 Le terme «dégradation» peut être un défaut de fonctionnement temporaire ou permanent.

[VEI 161-01-19]

3.7

perturbation électromagnétique parasite

phénomène électromagnétique susceptible de créer des troubles de fonctionnement d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système

[VEI 161-01-05, modifiée]

3.8

brouillage électromagnétique

dégradation apportée au fonctionnement d'un appareil, d'une voie de transmission ou d'un système par une perturbation électromagnétique

[VEI 161-01-06]

3.9

susceptibilité (électromagnétique)

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

NOTE La susceptibilité est un manque d'immunité.

[VEI 161-01-21]

3.10

EUT

appareil soumis aux essais, qui peut être constitué d'une unité unique ou d'unités multiples interconnectées par des câbles, des liaisons de données, etc.

NOTE Les unités multiples interconnectées par des câbles, etc. sont aussi appelées «systèmes» [voir 3.27 ci-dessous].

3.11**transformation de Fourier rapide****FFT**

procédure mathématique pour calculer rapidement la transformée de Fourier directe ou inverse d'un signal temporel ou d'un spectre de fréquence, respectivement. Elle nécessite des points de données 2^m ($m = \text{entier}$) répartis de manière égale dans le temps et en fréquence et elle nécessite beaucoup moins de temps de calcul qu'une transformée de Fourier discrète normale (DFT)

3.12**plan de sol**

surface conductrice plate dont le potentiel est pris comme référence

[VEI 161-04-36]

3.13**ligne de transmission haute tension**

ligne d'alimentation électrique avec une tension de réseau en courant alternatif nominale supérieure ou égale à 100 kV

3.14**courant de court-circuit** **I_{sc}**

courant résultant d'une connexion anormale de résistance relativement faible entre deux points de potentiel différent dans un circuit

3.15**immunité (à une perturbation)**

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

[VEI 161-01-20]

3.16**niveau d'immunité**

niveau maximal d'une perturbation électromagnétique de forme donnée agissant sur un dispositif, un appareil ou un système particulier, pour lequel celui-ci demeure capable de fonctionner avec la qualité voulue

[VEI 161-03-14]

3.17**niveau de l'essai d'immunité**

valeur de la grandeur électromagnétique perturbatrice qui est spécifiée pour l'essai d'immunité.

NOTE Il est à noter que le texte de cette définition est identique à celui du niveau de sévérité (voir 3.24). Une norme d'essai peut spécifier plusieurs niveaux de sévérité en fonction de différents niveaux d'immunité.

3.18**simulateur IEMN-HA de grande taille**

dispositif d'essai d'impulsion électromagnétique transitoire avec un volume d'essai suffisamment grand pour permettre les essais d'objets ayant des dimensions en volume supérieures ou égales à 1 m × 1 m × 1 m

3.19**circuit d'alimentation BT (Basse Tension)**

circuit d'alimentation ayant une tension nominale en courant alternatif comprise entre 120 V et 1 000 V

NOTE Les tensions normalisées dans cette plage de tensions sont données dans la CEI 60038.

3.20

ligne de transport MT (moyenne tension)

ligne d'alimentation électrique ayant une tension nominale en courant alternatif supérieure à 1 kV et inférieure à 35 kV utilisée pour transporter le courant électrique à l'intérieur d'une zone locale

NOTE Les tensions normalisées dans cette plage de tensions sont données dans la CEI 60038.

3.21

point d'entrée accès d'entrée

PdE

emplacement physique (point) dans une barrière électromagnétique par lequel l'énergie électromagnétique peut entrer dans un volume topologique ou en sortir sauf en présence d'un dispositif de protection adéquat du PdE. Un PdE est plus qu'un simple point géométrique. Les PdE sont classés en PdE d'ouverture ou PdE conducteurs en fonction du type de pénétration. Ils sont également classés en PdE architecturaux, mécaniques, structurels ou électriques selon le cadre architectural dans lequel on les rencontre le plus fréquemment

3.22

largeur d'impulsion

durée de l'intervalle de temps entre les points sur les fronts montant et descendant d'une impulsion pour lequel la valeur instantanée est égale à 50 % de l'amplitude crête de l'impulsion

3.23

temps de montée (d'une impulsion)

durée de l'intervalle de temps entre les instants auxquels la valeur instantanée d'une impulsion atteint pour la première fois une valeur inférieure donnée puis une valeur supérieure donnée

[VEI 161-02-05]

NOTE Dans cette norme, la valeur inférieure est fixée à 10 % et la valeur supérieure à 90 % de la valeur de crête.

3.24

niveau de sévérité

valeur d'une grandeur électromagnétique d'influence spécifiée pour un essai d'immunité.

NOTE Il est à noter que le texte de cette définition est identique à celui du niveau de l'essai d'immunité (voir 3.17). Une norme d'essai peut spécifier plusieurs niveaux de sévérité en fonction de différents niveaux d'immunité.

3.25

dispositif d'essai aux rayonnements de petite dimension

dispositif d'essai de laboratoire à impulsions électromagnétiques transitoires, tel qu'une cellule TEM, ayant un volume d'essai suffisamment grand pour soumettre aux essais des objets d'un volume inférieur à 1 m x 1 m x 1 m

3.26

dispositif de protection contre les surtensions

SPD

dispositif pour supprimer les surtensions et les courants conduits par les lignes

NOTE Voir, par exemple, les limiteurs de surtensions définis dans la CEI 61024-1

3.27

système

équipement multiple ou unités électriques connectés par des câbles, des liaisons de données, etc.

3.28

volume d'essai

volume dans lequel les champs électromagnétiques satisfont ou dépassent les prescriptions d'intensité et d'uniformité de champ

3.29 transitoire

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

[VEI 161-02-01]

3.30 tension en circuit ouvert

V_{oc}

tension entre des points d'un circuit dans lequel un des points a été créé en ouvrant ou en fermant le circuit

4 Généralités

L'essai à l'impulsion électromagnétique nucléaire à haute altitude se compose de deux parties principales: essai d'immunité aux perturbations rayonnées et essai d'immunité aux perturbations conduites. L'essai d'immunité aux perturbations rayonnées est réalisé pour vérifier que l'appareil en essai est capable de continuer à fonctionner lorsqu'il est exposé à des champs IEMN-HA *rayonnés*. De même, l'essai d'immunité aux perturbations conduites est réalisé pour vérifier que l'appareil en essai n'est pas perturbé par les transitoires IEMN-HA *conduits*. Ces transitoires correspondent à des courants et des impulsions de tension sur les conducteurs (fils, câbles) qui sont connectés à l'appareil en essai. En général, les transitoires IEMN-HA conduits et induits dans les lignes d'énergie et de télécommunication constituent souvent les menaces les plus sévères pour les appareils. Les essais d'immunité décrits dans cette norme nécessitent des tensions dangereuses. Des précautions dans le domaine haute tension seront nécessaires pour protéger la santé et la sécurité du personnel chargé des essais.

5 Essais d'immunité et niveaux de sévérité

5.1 Introduction

Cette norme a été établie pour spécifier l'essai d'immunité des appareils et des systèmes électriques ou électroniques à l'IEMN-HA. Le but est de permettre aux constructeurs de faire qualifier leurs appareils très tôt au cours du cycle de conception et d'utiliser au maximum les mêmes essais CEI d'immunité en laboratoire que ceux déjà prescrits pour d'autres aspects de CEM.

5.2 Essais d'immunité

Les essais d'immunité aux IEMN-HA sont de deux grands types: les essais d'immunité aux perturbations rayonnées et les essais d'immunité aux perturbations conduites. Pour les besoins de cette norme, le terme «appareil électronique» désigne un appareil qui assure une fonction spécifique. Il pourrait désigner un petit ordinateur ou un téléphone. Certains appareils (par exemple, un ordinateur relié à des périphériques complémentaires tels que des tableaux de commande pour surveiller des processus dans une usine) peuvent être considérés comme des éléments d'un système plus important. Souvent, les appareils électroniques sont relativement petits – de l'ordre de 1 m x 1 m x 1 m, voire plus petits encore. On considère comme acquis que la plupart des essais sur des appareils de si petite taille seront réalisés dans des laboratoires utilisant des simulateurs à injection de courant et des cellules TEM.

Pour les essais IEMN-HA (et CEM), la taille peut constituer un facteur déterminant, dans la mesure où il peut être difficile de soumettre des systèmes de grande taille aux essais, en particulier aux champs rayonnés. En général, les essais de champs rayonnés sur les systèmes et les appareils de grande taille ayant des dimensions supérieures à 1 m de côté nécessiteront un simulateur IEMN-HA de grande taille. Une particularité des essais IEMN-HA par rapport aux autres types d'essais de CEM est qu'il existe dans le monde plusieurs simulateurs IEMN-HA de grande taille (~10 m de haut) pour les perturbations initiales ($t < 1 \mu\text{s}$). Il est possible d'exposer certains systèmes et appareils de grande taille aux IEMN-HA initiales en reproduisant les

champs impulsionnels électriques et magnétiques. Ces simulateurs sont également utiles pour vérifier que l'appareil, conçu pour résister aux perturbations IEMN-HA au niveau de l'appareil et soumis à des essais destinés à vérifier cette résistance, fonctionnera correctement lorsqu'il sera intégré à un système complet.

5.3 Niveaux de sévérité

Cette norme définit des perturbations électromagnétiques représentatives de celles qui pourraient intervenir aux accès des appareils à la suite d'un phénomène nucléaire à haute altitude. Ces perturbations électromagnétiques peuvent être le résultat d'environnements IEMN-HA rayonnés et conduits, tels que modifiés par les éléments de protection éventuels. Ces perturbations électromagnétiques sont décrites dans la CEI 61000-2-9, la CEI 61000-2-10 et la CEI 61000-2-11. La justification des niveaux de sévérité et la réduction des agressions due aux éléments de protection et aux probables amorçages est donnée à l'annexe A.

5.4 Essais de perturbations rayonnées

5.4.1 Niveaux de sévérité des essais de perturbations rayonnées

Les niveaux des essais d'immunité aux perturbations rayonnées décrits ci-dessous ne concernent que les champs rayonnés initiaux. Les essais des champs IEMN-HA intermédiaires et finaux ne sont pas exigés. Des informations concernant le choix des niveaux d'essai sont données à l'annexe A. Les valeurs de crête du champ électrique initial, $E_{\text{crête}}$, pour les niveaux de sévérité choisis sont données au tableau 1.

Tableau 1 – Niveaux des essais d'immunité aux perturbations rayonnées définies dans cette norme

Niveau d'essai	Essai nécessaire pour les appareils et les systèmes avec la protection suivante ^a	Valeur de crête du champ-E ^b $E_{\text{crête}}$ (kV/m)
R1	Concept 4	0,5
R2	Valeur intermédiaire	1
R3	Valeur intermédiaire	2
R4	Concepts 2A, 2B, 3	5
R5	Valeur intermédiaire	10
R6	Valeur intermédiaire	20
R7	Concepts 1A, 1B	50
RX	Applications spéciales	X

^a Les concepts de protection sont décrits dans la CEI 61000-5-3.

^b Selon la CEI 61000-2-11, tableau 2.

5.4.2 Spécifications des essais d'immunité aux perturbations rayonnées

En l'absence d'objet dans le simulateur, le champ électrique à l'intérieur du volume d'essai est une onde assimilable à une onde quasi plane, à exponentielle double décrite par une onde 2,5/25 ns, c'est-à-dire une onde unipolaire avec un temps de montée entre 10 % et 90 % de 2,5 ns et une largeur d'impulsion égale à 25 ns. Cette forme d'onde est donnée par l'équation suivante.

$$E(t) = E_{\text{crête}} \times k \times (e^{-\beta t} - e^{-\alpha t}) \quad \text{V/m} \quad (1)$$

où

$\alpha = 6,0 \times 10^8 \text{ s}^{-1}$, $\beta = 4,0 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$, et

$k = 1,3$.

$E_{\text{crête}}$ est la valeur de crête du champ électrique, en volts par mètre.

NOTE $E_{\text{crête}}$ est le niveau de sévérité d'essai choisi dans le tableau 1.

t est la durée, en secondes.

L'amplitude spectrale dans le domaine fréquentiel pour l'équation (1) est donnée par

$$|E(f)| = \frac{E_{\text{crête}} \times k \times (\alpha - \beta)}{\sqrt{[(2\pi f)^2 + \alpha^2][(2\pi f)^2 + \beta^2]}} \quad \text{(V/m/Hz)} \quad (2)$$

où

f est la fréquence, en hertz.

Pour les paramètres de forme d'onde indiqués ci-dessus, l'amplitude spectrale dans le domaine fréquentiel de l'équation (2) est donnée à la figure 1.

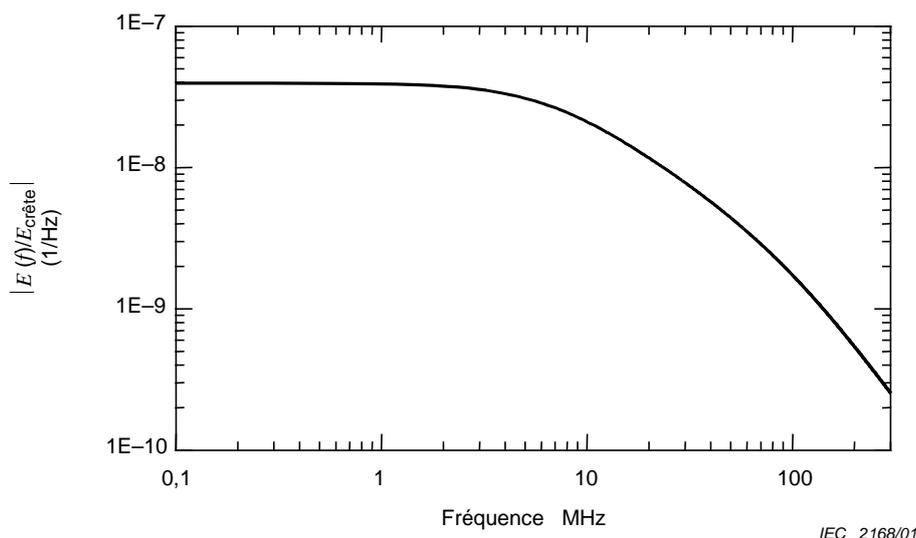


Figure 1 – Amplitude dans le domaine fréquentiel entre 100 kHz et 300 MHz

5.4.3 Dispositifs d'essai aux rayonnements de petite dimension

Les dispositifs d'essai de petite dimension peuvent plus facilement satisfaire aux spécifications de champ désirées, avec des tolérances plus faibles au niveau des paramètres de variation que les simulateurs IEMN-HA de grande taille. Ces dispositifs d'essai de petite taille seront

essentiellement utilisés pour soumettre des appareils relativement petits aux essais. Les tolérances pour la forme d'onde des impulsions IEMN-HA initiales dans l'ensemble du volume d'essai de forme parallélépipédique du dispositif de petite taille doivent se présenter de la façon suivante.

- Le rapport du champ électrique de crête sur le champ magnétique de crête doit être égal à $377 \Omega \pm 50 \Omega$.
- Le temps de montée entre 10 % et 90 % de la valeur de crête doit se situer dans la plage comprise entre 2,0 ns et 2,5 ns.
- Le champ électrique doit augmenter de manière continue pendant le temps de montée entre 10 % et 90 %.
- La largeur d'impulsion (durée de l'intervalle de temps entre les points à 50 % de $E_{\text{crête}}$ sur les fronts montant et descendant d'une impulsion) doit se situer entre 25 ns et 30 ns.
- L'amplitude de toute pré-impulsion sur le champ électrique doit être inférieure ou égale à 7 % de l'amplitude du champ de crête.
- Les réflexions du champ électrique provenant de la résistance de charge du simulateur doivent être inférieures à 10 %.
- Les fluctuations dans le spectre de fréquences lissé du champ électrique au centre du volume d'essai (voir 5.4.5) ne doivent pas être supérieures à ± 3 dB par rapport au spectre théorique donné par l'équation (2) dans la largeur de bande comprise entre 100 kHz et 300 MHz.
- Lorsque les champs simulés atteignent leur valeur de crête, les autres composants électromagnétiques qui ne sont pas des composants principaux doivent avoir une valeur inférieure à 10 % de la valeur de crête du champ simulé.
- Le champ électrique de crête doit être uniforme dans le volume d'essai dans les limites des critères suivants: le champ électrique de crête à l'intérieur du volume d'essai doit se situer dans la plage comprise entre $E_{\text{crête}}$ et $E_{\text{crête}} + 6$ dB.
- Pour évaluer les tolérances de champ, les mesures de champ électrique et magnétique au centre et au huit coins du volume d'essai doivent être réalisées en l'absence de l'appareil en essai.

5.4.4 Simulateurs IEMN-HA de grande taille

Les simulateurs IEMN-HA de grande taille peuvent être utilisés pour soumettre aux essais les appareils de grande taille et les systèmes complets. Compte tenu de la variété de ces simulateurs, il existe de grandes plages de temps de montée, de largeurs d'impulsions et d'amplitudes de champs produites par ces dispositifs. Par conséquent, on divise les simulateurs IEMN-HA de grande taille en deux types, sur la base de leur comportement de champ rayonné: les types I et II. Généralement, les simulateurs de type I assurent un temps de montée et une largeur d'impulsion plus courts que les simulateurs de type II. Une analyse préalable aux essais est nécessaire avec les simulateurs de type II, qui ne satisfont pas aux spécifications d'immunité aux perturbations rayonnées données en 5.4.2.

Suite à une IEMN-HA, la réponse d'un composant électrique à l'intérieur d'un système dépend non seulement de la forme de l'impulsion (ou du spectre de domaine fréquentiel), mais aussi du mécanisme de couplage et de pénétration que les signaux IEMN-HA utilisent en se propageant des parties externes du système vers le composant. Dans certaines classes de systèmes (c'est-à-dire petits systèmes avec des conducteurs externes courts, comme les téléphones mobiles), le couplage IEMN-HA sera dominé par les pénétrations par les ouvertures – un mécanisme à haute fréquence en soi. En conséquence, les simulateurs de type I ayant un contenu spectral HF plus large seraient préférables pour les essais. Cependant, dans d'autres types de systèmes contenant des conducteurs externes plus longs (radios HF par exemple), la réponse IEMN-HA dominante résultera du couplage de champ à l'antenne. Ainsi les simulateurs du type II avec un temps de montée plus lent et une largeur d'impulsion plus importante seraient susceptibles de convenir aux essais de ces systèmes particuliers.

Le fait que différents systèmes peuvent réagir différemment selon l'environnement IEMN-HA incident, souligne la nécessité d'un programme d'analyse préalable aux essais pour les simulateurs du type II. Cette analyse préalable aux essais doit être réalisée pour déterminer exactement comment les champs simulés de type II se coupleront au système ainsi que pour vérifier l'adéquation des simulateurs de type II à la réalisation des essais d'immunité. L'adéquation de l'essai doit être démontrée en comparant les résultats de l'interaction et du couplage des champs simulés avec ceux de l'impulsion théorique décrite en 5.4.2.

5.4.4.1 Simulateurs IEMN-HA de grande taille – type I

Pour les essais à l'intérieur des simulateurs de type I, le champ électrique de crête, $E_{\text{crête}}$, doit être choisi dans le tableau 1 correspondant au niveau de sévérité choisi pour l'essai. Les tolérances pour les impulsions IEMN-HA initiales sur l'ensemble du volume d'essai parallélépipédique du simulateur doivent se présenter comme indiqué ci-dessous.

- Le rapport du champ électrique de crête sur le champ magnétique de crête doit être égal à $377 \Omega \pm 50 \Omega$.
- Le temps de montée entre 10 % et 90 % de la valeur de crête doit se situer dans la plage comprise entre $2,5 \text{ ns} \pm 0,5 \text{ ns}$.
- Le champ électrique doit augmenter de manière continue pendant le temps de montée entre 10 % et 90 %.
- La largeur d'impulsion (durée de l'intervalle de temps entre les points à 50 % de $E_{\text{crête}}$ sur les fronts montant et descendant d'une impulsion) doit se situer entre 25 ns et 75 ns.
- L'amplitude d'une éventuelle pré-impulsion sur le champ électrique doit être inférieure ou égale à 7 % de l'amplitude du champ de crête.
- Les réflexions du champ électrique provenant de la résistance de charge du simulateur doivent être inférieures à 10 %.
- Les fluctuations dans le spectre de fréquences lissé du champ électrique au centre du volume d'essai (voir 5.4.5) ne doivent pas être supérieures à $\pm 10 \text{ dB}$ par rapport au spectre théorique donné par l'équation (2) dans la largeur de bande comprise entre 1 MHz et 200 MHz.
- Le champ électrique de crête doit être uniforme dans le volume d'essai dans les limites des critères suivants: le champ électrique de crête à l'intérieur du volume d'essai doit se situer dans la plage comprise entre $E_{\text{crête}}$ et $E_{\text{crête}} + 6 \text{ dB}$.
- Pour évaluer les tolérances de champ, les mesures de champs électrique et magnétique au centre et au huit coins du volume d'essai doivent être réalisées en l'absence de l'appareil en essai.

5.4.4.2 Simulateurs IEMN-HA de grande taille – type II

Une analyse préalable aux essais est nécessaire pour les essais avec les simulateurs de type II dans la mesure où ces dispositifs d'essai ne satisfont pas aux spécifications d'immunité aux perturbations rayonnées données en 5.4.2.

Les spécifications des simulateurs de grande taille de type II sont les mêmes que celles des simulateurs de type I, sauf en ce qui concerne les temps de montée, les largeurs d'impulsion et le spectre de fréquences, qui sont indiqués ci-dessous.

- Le temps de montée de 10 % à 90 % de la valeur de crête doit se situer entre 2 ns et 10 ns.
- La largeur d'impulsion (durée de l'intervalle de temps entre les points à 50 % de $E_{\text{crête}}$ sur les fronts montant et descendant d'une impulsion) doit se situer entre 25 ns et 500 ns.
- Les fluctuations dans le spectre de fréquences lissé du champ électrique au centre du volume d'essai (voir 5.4.5) ne doivent pas être supérieures à $\pm 10 \text{ dB}$ par rapport au spectre théorique donné par l'équation (2) dans la largeur de bande comprise entre 1 MHz et 100 MHz.

5.4.5 Prescriptions pour le spectre de domaine fréquentiel

En plus des exigences sur les champs transitoires du simulateur IEMN-HA, les prescriptions suivantes doivent être prises en compte dans le domaine fréquentiel des champs du simulateur.

- a) Le spectre fréquentiel doit être calculé en utilisant une forme d'onde transitoire échantillonnée de manière uniforme comportant 4 096 échantillons entre l'instant de départ 0 et l'instant d'arrivée de 2 μ s. Un spectre fréquentiel à valeur complexe de 2 048 points doit être calculé en utilisant une FFT (transformée de Fourier rapide) ou une transformée de Fourier discrète (DFT) avec un intervalle d'échantillonnage fréquentiel de 0,5 MHz et une fréquence maximale de 1,0 GHz.
- b) Le spectre fréquentiel doit être lissé en utilisant une moyenne de fenêtrage de cinq points (c'est-à-dire que le spectre doit être moyenné sur une fenêtre de 2 MHz).
- c) L'amplitude qui résulte du spectre lissé doit se situer dans les limites du niveau spécifié, exprimé en décibels, du spectre de la forme d'onde spécifiée de l'équation (2) et être telle que représentée normalisée à la figure 1.

Il convient de noter que la plupart des spectres fréquenciel mesurés ont parfois des valeurs nulles (ou des «trous»), qui n'altèrent pas de manière significative le comportement global de l'onde transitoire. La prescription qui prévoit que le spectre fréquentiel lissé des simulateurs de petite et de grande taille se situe dans les limites de ± 3 dB, respectivement de ± 10 dB, est donnée dans ce contexte et de façon à permettre une éventuelle valeur nulle dans le spectre. Les limites spectrales de ± 3 dB et ± 10 dB sont différentes car les simulateurs plus petits ont généralement des tolérances plus faibles et une exactitude plus élevée en ce qui concerne les champs simulés.

5.5 Essais de perturbations conduites

5.5.1 Niveaux de sévérité des essais de perturbations conduites

Pour les perturbations conduites, on doit examiner trois types d'environnements. Ils correspondent à chacun des régimes temporels des IEMN-HA (initial, intermédiaire et final). Les niveaux d'essai d'immunité pour ces trois types d'environnements à perturbations conduites sont donnés, respectivement, dans les tableaux 2, 3 et 4. Les valeurs données dans ces tableaux sont les valeurs d'essai en mode commun. Seuls les essais en mode commun sont prescrits pour les câbles d'entrée/sortie et les câbles blindés. Les essais en mode commun et en mode différentiel sont tous deux exigés pour les accès d'alimentation électrique et de télécommunication et pour les deux premiers régimes (initial et intermédiaire). Les niveaux d'essai en mode différentiel ont les mêmes valeurs qu'en mode commun. Le tableau 5 fournit des informations sur d'autres essais conçus pour tenir compte des effets indirects de l'environnement final.

Se reporter à l'annexe A pour une description des niveaux d'essai en fonction de la fiabilité et de la protection requises pour l'appareil installé.

5.5.1.1 Niveaux de sévérité pour l'essai aux perturbations conduites initiales

Les niveaux d'essai d'immunité aux perturbations conduites initiales sont donnés au tableau 2. Les six premiers niveaux utilisent des formes d'onde sinusoïdales amorties pour tenir compte des oscillations associées aux câblages à l'intérieur de bâtiments. L'application de niveaux de sévérité pour les concepts de protection, les niveaux de confiance (probabilité) et les différents accès de câbles est donnée au tableau A.3. Les essais aux accès aux câbles d'antenne peuvent être réalisés en exposant l'antenne à une perturbation IEMN-HA simulée dans un essai d'immunité aux perturbations rayonnées ou en injectant à l'accès de l'antenne une surtension conduite appropriée, en mode différentiel, comme déterminé à l'annexe B.

Tableau 2 – Niveaux d’essai d’immunité aux perturbations conduites initiales

Niveau d'essai	V_{ee} V	I_{ee} A	Forme	Norme de base	Niveau de sévérité dans la norme de base
EC1	100	1	Sinusoïdales amorties ^a	ISO 7137	Voir l'annexe D
EC2	250	2,5	Sinusoïdales amorties ^a	ISO 7137	Voir l'annexe D
EC3	500	5	Sinusoïdales amorties ^a	ISO 7137	Voir l'annexe D
EC4	1 000	10	Sinusoïdales amorties ^a	ISO 7137	Voir l'annexe D
EC5	2 000	20	Sinusoïdales amorties ^a	ISO 7137	Voir l'annexe D
EC6	4 000	40	Sinusoïdales amorties ^a	ISO 7137	Voir l'annexe D
EC7	4 000	80	5/50 ns	CEI 61000-4-4	4
EC8	8 000	160	5/50 ns	CEI 61000-4-4	X
EC9	16 000	320	5/50 ns	CEI 61000-4-4	X
EC10	25 000	500	25/500 ns	La présente norme	EC10
EC11	160 kV	3-200	10/100 ns	La présente norme	EC11
ECX	Spécial	Spécial	Transitoire rapide	La présente norme	ECX

NOTE 1 — Les niveaux de tension et de courant donnés dans le tableau s'appliquent aux valeurs en mode commun.

NOTE 2 — Le niveau EC10 se compose de quatre sous-niveaux en plus de 25 kV: 1 kV, 4 kV, 8 kV et 16 kV.

NOTE 3 — Pour les niveaux d'essai EC8 et EC9, il est suffisant de réaliser l'essai avec une impulsion unique.

NOTE 4 — Le niveau EC11 se compose de quatre sous-niveaux en plus de 160 kV: 20 kV, 40 kV, 80 kV et 120 kV. Cette catégorie de niveau d'essai d'immunité est destinée aux essais d'appareils directement connectés à des lignes de électriques MT de grande longueur protégées contre la foudre. En l'absence de protection contre la foudre, augmenter V_{oc} à 1,6 MV et I_{sc} à 4 000 A. (voir l'annexe A).

^a — Chaque niveau d'essai se compose au moins de deux fréquences: 1 MHz et 10 MHz ou 10 MHz et 30 MHz. Le coefficient d'amortissement Q de l'essai d'onde oscillatoire amortie, tel qu'il est défini par l'équation (D.1) de la CEI 61000-2-10, varie de 5 à 20.

Niveau d'essai d'immunité	V_{oc} V	I_{sc} A	Forme d'onde	Norme de base	Niveau de sévérité dans la norme de base
EC1	100	2	Sinusoïdales amorties ^a	CEI 61000-4-18	X
EC2	250	5	Sinusoïdales amorties ^a	CEI 61000-4-18	X
EC3	500	10	Sinusoïdales amorties ^a	CEI 61000-4-18	1
EC4	1 000	20	Sinusoïdales amorties ^a	CEI 61000-4-18	2
EC5	2 000	40	Sinusoïdales amorties ^a	CEI 61000-4-18	3
EC6	4 000	80	Sinusoïdales amorties ^a	CEI 61000-4-18	4
EC7	4 000	80	5/50 ns	CEI 61000-4-4	4
EC8	8 000	160	5/50 ns	CEI 61000-4-4	X
EC9	16 000	320	5/50 ns	CEI 61000-4-4	X
EC10	25 000	500	25/500 ns	La présente norme	EC10
EC11	160 kV	3 200	10/100 ns	La présente norme	EC11
ECX	Spécial	Spécial	Transitoire rapide	La présente norme	ECX

NOTE 1 Les niveaux de tension et de courant donnés dans le tableau s'appliquent aux valeurs en mode commun.

NOTE 2 Le niveau EC10 se compose de quatre sous-niveaux en plus de 25 kV: 1 kV, 4 kV, 8 kV et 16 kV.

NOTE 3 Pour les niveaux d'essai d'immunité EC8 et EC9, il est suffisant de réaliser l'essai avec une impulsion unique.

NOTE 4 Le niveau EC11 se compose de quatre sous-niveaux en plus de 160 kV: 20 kV, 40 kV, 80 kV et 120 kV. Cette catégorie de niveau d'essai d'immunité est destinée aux essais d'appareils directement connectés à des lignes de transport MT de grande longueur protégées contre la foudre. En l'absence de protection contre la foudre, augmenter V_{oc} à 1,6 MV et I_{sc} à 4 000 A (voir l'Annexe A).

a Chaque niveau d'essai d'immunité se compose d'au moins trois fréquences: 3 MHz, 10 MHz et 30 MHz. Le coefficient d'amortissement Q de l'essai d'onde oscillatoire amortie, tel qu'il est défini par l'équation (D.1) de la CEI 61000-2-10:1998, varie de 5 à 20.

5.5.1.2 Niveaux de sévérité pour l'essai aux perturbations conduites intermédiaires

Les niveaux d'essai d'immunité IEMN-HA aux perturbations conduites intermédiaires sont donnés au tableau 3. Le niveau IC3 est utilisé pour les concepts de protection 1A et 2A, qui ne possèdent pas de protection contre la foudre sur le circuit d'alimentation électrique BT courant alternatif. La justification de ce niveau est donnée à l'annexe A. Les niveaux IC2 et IC1 sont inférieurs au niveau IC3, car il faut que chaque essai inclue le niveau d'essai spécifié plus les deux niveaux immédiatement inférieurs, comme décrit dans la procédure d'essai à l'article 9. Si une protection contre la foudre est utilisée, des essais aux perturbations IEMN-HA intermédiaires ne sont pas nécessaires, dans la mesure où les SPD utilisés pour la protection contre la foudre seront efficaces contre les surtensions relativement lentes du tableau 3.

Tableau 3 – Niveaux d'essai d'immunité aux perturbations IEMN-HA conduites intermédiaires

Niveau d'essai	V_{oc} V	I_{sc} A	Forme	Norme de base	Niveau de sévérité dans la norme de base
IC1	1 000	25	Impulsion unidirectionnelle 10/700 μ s	CEI-61000-4-5 («Essai UIT-T») ²	2
IC2	2 000	50	Impulsion unidirectionnelle 10/700 μ s	CEI-61000-4-5 (Essai UIT-T)	3
IC3	4 000	100	Impulsion unidirectionnelle 10/700 μ s	CEI-61000-4-5 (Essai UIT-T)	4
ICX	Spécial	Spécial	Impulsion unidirectionnelle 10/700 μ s	CEI-61000-4-5 (Essai UIT-T)	X

NOTE Les niveaux de tension et de courant du tableau s'appliquent aux valeurs en mode commun. Pour les valeurs en mode différentiel, utiliser les valeurs données pour le mode commun dans le tableau.

5.5.1.3 Niveaux de sévérité pour l'essai aux perturbations conduites finales

Les perturbations IEMN-HA conduites finales sont d'une grande importance pour les appareils de télécommunication, les appareils directement connectés aux lignes de distribution électrique MT et pour les lignes de transmission HT. Les circuits d'alimentation électrique BT ne seront pas affectés par les effets directs des perturbations quasi continues, compte tenu de leur faible longueur et de l'affaiblissement procuré par les transformateurs de distribution. Bien que la forme idéale soit une impulsion unipolaire de 1/50 s, il sera difficile de la simuler, en particulier avec des courants relativement élevés. Pour les essais d'immunité, on utilise une impulsion trapézoïdale qui est plus facile à réaliser. Les niveaux d'environnement à perturbations conduites pour perturbations IEMN-HA finales sont donnés au tableau 4.

² L'UIT est l'Union Internationale des Télécommunications.

Tableau 4 – Niveaux d'essai pour environnements à perturbations conduites IEMN-HA finales

Niveau d'essai	V_{oc} V	I_{sc} A	Forme	Norme de base	Application
LC1	120	1,2	Impulsion trapézoïdale unidirectionnelle 60 s	La présente norme	Accès télécoms type avec lignes de 3 km ou moins
LC2	400	1,33	Impulsion trapézoïdale unidirectionnelle 60 s	La présente norme	Accès télécoms pour lignes de grande longueur jusqu'à 10 km
LC3	400	25	Impulsion trapézoïdale unidirectionnelle 60 s	La présente norme	Équipement directement connecté aux circuits de distribution électrique primaires MT ^a
LC4	4 000	1 500	Impulsion trapézoïdale unidirectionnelle 60 s	La présente norme	Équipement directement connecté aux lignes de transmission HT de grande longueur ^a
LCX	Spécial	Spécial	Spécial	La présente norme	Niveaux de tension et de courant définis par l'utilisateur

NOTE Les spécifications de formes d'ondes détaillées sont données à l'annexe C.

^a Applicable uniquement si un chemin en courant continu vers la terre existe aux deux extrémités de la ligne. Les informations sur le choix des niveaux d'essai sont données dans l'annexe A.

Les circuits d'alimentation électrique à basse tension seront exposés aux effets indirects des perturbations IEMN-HA conduites finales sur les lignes de transmission et de distribution électrique. Le tableau 5 donne les essais d'immunité à la distorsion harmonique et aux creux de tension appropriés pour les accès électriques à courant alternatif à basse tension.

Tableau 5 – Essais pour les effets des environnements à perturbations IEMN-HA conduites finales pour les accès en courant alternatif à basse tension

Niveau d'essai	Effets	Niveaux d'essai	Norme de base	Niveau de sévérité dans la norme de base
LCH1	Distorsion harmonique sévère	2 ^{ème} harmonique – 5 % de V_r 3 ^{ème} harmonique – 8 % de V_r	CEI 61000-4-13	Niveau d'essai Classe 3
LCV1	Variations de tension	60 % du creux V_r pour 10 périodes	CEI 61000-4-11	Niveau d'essai 40 % de V_r

NOTE V_r est la tension assignée d'entrée en courant alternatif.

5.5.2 Spécifications des essais d'immunité aux perturbations conduites

Dans cette norme, des essais CEI de CEM qui satisfont aux exigences de l'essai aux perturbations IEMN-HA ont été identifiés pour minimiser le nombre de nouveaux générateurs et de dispositifs d'essai nécessaires pour réaliser les essais. Les spécifications d'essai sont celles des normes existantes telles qu'elles sont référencées au tableau 6. Un réseau de couplage/découplage similaire à celui utilisé pour conduire les essais dans la CEI 61000-4-4, la CEI 61000-4-5 et la CEI 61000-4-18 doit être utilisé pour les essais EC1 à EC11 et IC1 à IC4. Pour les essais d'immunité aux perturbations IEMN-HA conduites initiales, la rigidité diélectrique du réseau doit être vérifiée. Pour les perturbations IEMN-HA conduites initiales

EC11, il convient que la rigidité diélectrique du réseau ~~doit être~~ soit conçue pour résister aux impulsions de tension jusqu'à 200 kV. Les lignes directrices relatives à l'instrumentation et à la mesure pour les essais spéciaux définis par la présente norme sont disponibles dans la CEI 61000-4-33.

Tableau 6 – Spécifications pour l'essai d'immunité aux perturbations IEMN-HA conduites

Essai réalisé	Document de référence pour les spécifications d'essai	Impédance de source Ω	Considérations spéciales
Initial EC1 – EC6	ISO 7137 CEI 61000-4-18	100 ± 20 % aux fréquences d'essai	Essai d'onde oscillatoire amortie Voir l'annexe D
Initial EC7- EC9	CEI 61000-4-4	50 ± 30 % de 1 MHz à 100 MHz	Vitesse de répétition de salve: 2,5 kHz Durée de salve: 10 ms
Initial EC10	La présente norme	50 ± 30 % de 1 MHz à 20 MHz	Impulsion unipolaire unique Onde 25/500 ns La CEI 61000-4-33 est applicable
Initial EC11	La présente norme	50 ± 30 % de 1 MHz à 50 MHz	Impulsion unipolaire unique Onde de 10/100 ns La CEI 61000-4-33 est applicable
Intermédiaire IC1 – IC4	La présente norme	40 ± 10 % Plage: suivant la norme	Essai UIT-T
LC1 – LC2	La présente norme	Variable de 100 à 300 Tolérance: ± 10 %	Générateur d'ondes trapézoïdales La CEI 61000-4-33 est applicable
Final LC3 – LC4	La présente norme	0,06 ou moins Tolérance: + 10 %	Générateur d'injection de courant La CEI 61000-4-33 est applicable
Final Effets indirects	CEI 61000-4-11 CEI 61000-4-13	Suivant la norme Suivant la norme	Aucune

6 Matériel d'essai

6.1 Essais de champs rayonnés

6.1.1 Générateur de champ rayonné

Le générateur de champ rayonné doit être soit un dispositif d'essai de champ rayonné de petite taille satisfaisant aux prescriptions de 5.4.3 soit un simulateur IEMN-HA de grande taille satisfaisant aux prescriptions de 5.4.4.

6.1.2 Instrumentation

La méthode de mesure doit entraîner l'utilisation d'une liaison de transmission à fibres optiques qui permet de mesurer des signaux et de les transmettre à un système de traitement de données sans perturber le champ électromagnétique ambiant. Le système de mesure doit être intrinsèquement insensible aux rayonnements électromagnétiques émis par le simulateur.

Les techniques d'instrumentation et de mesure décrites dans la CEI 61000-4-33 sont applicables aux essais de champs rayonnés de la présente norme. Le système de mesure a pour but

- a) de fournir des mesures de champ de référence,
- b) de synchroniser les perturbations IEMN-HA simulées avec les modes opérationnels du système en essai comme exigé par l'utilisateur, et

- c) de fournir des mesures de tension et de courant de l'appareil en essai, comme exigé par l'utilisateur.

Il convient que l'exactitude globale exigée du système de mesure ~~doit~~ se situer dans les limites de $\pm 3,0$ dB dans la gamme de fréquences de f_{\min} à f_{\max} ,

où

$f_{\min} = 0,025/(\text{largeur d'impulsion})$ et

$f_{\max} = 1,25/(\text{temps de montée de l'impulsion})$.

La gamme de fréquences maximale requise est de 50 kHz à 500 MHz, c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire que f_{\min} soit inférieur à 50 kHz et que f_{\max} soit supérieur à 500 MHz. Il convient ~~fait~~ que la gamme dynamique instantanée **globale exigée pour le** système de mesure soit au moins de 40 dB.

Il est recommandé que le système de mesure ait les caractéristiques suivantes.

- Il est recommandé que le système de transmission de données ait une largeur de bande minimale de 3 dB de 50 kHz à 1 GHz.
- Il convient que le numériseur ou l'oscilloscope ait une largeur de bande minimale de 500 MHz et une fréquence d'échantillonnage minimale de 2 giga-échantillons par seconde avec une résolution de données minimale de 8 bits.
- Il est recommandé que les capteurs de champ électrique et magnétique aient une largeur de bande minimale de 3 dB de 50 kHz à 1 GHz.
- Il est recommandé que les capteurs de courant ait une largeur de bande minimale de 3dB de 50 kHz à 200 MHz.

La mesure du champ de référence doit comprendre les trois composantes orthogonales de champ électrique et les trois composantes orthogonales de champ magnétique pour permettre une évaluation du rapport « champ électrique sur champ magnétique », ainsi que les composantes parasites de champ électromagnétique. L'utilisateur peut également spécifier d'autres mesures de champ dans le volume d'essai.

Si l'utilisateur exige des données de tension, le système de mesure doit être soigneusement conçu pour fournir des mesures de tension exactes en présence de champs électromagnétiques importants.

6.2 Essais de perturbations conduites

6.2.1 Générateur d'essai

Les générateurs d'essai pour les essais d'immunité aux perturbations conduites sont les mêmes que ceux prescrits par les normes de base référencées au tableau 6. Les niveaux EC10, EC11 et LC1 – LC4 font référence à la présente norme; les spécifications pour les générateurs d'essai sont données ci-dessous.

6.2.1.1 Générateur EC10

Les caractéristiques et les performances du générateur de transitoires rapides EC10 y compris le dispositif de couplage sont les suivantes:

- gamme de tension en circuit ouvert: 1 kV – 10 % à 25 kV + 10 %
- le générateur doit être capable de fonctionner dans les conditions de court-circuit.

Caractéristiques pour le fonctionnement sur une charge de 50 Ω:

- énergie maximale: 6 J/impulsion à 16 kV sur une charge de 50 Ω
- polarité: positive/négative

- temps de montée (10 % à 90 %) de l'impulsion: 25 ns ± 30 %
- durée d'impulsion (50 % de la valeur): 500 ns ± 30 %
- type de sortie: coaxiale
- impédance de source dynamique (voir note): 50 Ω ± 15 Ω
- forme d'impulsion: exponentielle double
- relation avec l'alimentation: asynchrone

NOTE L'impédance de source peut être vérifiée par la mesure des valeurs de crête de la tension d'impulsion de sortie dans des conditions de charge nulle ou, respectivement, de 50 Ω (rapport 2:1).

6.2.1.2 Générateur EC11

Les caractéristiques et les performances du générateur de transitoires rapides EC11 y compris le dispositif de couplage sont les suivantes:

- gamme de tension en circuit ouvert: 20 kV – 10 % à 160 kV + 10 %
- le générateur doit être capable de fonctionner dans des conditions de court-circuit.

Caractéristiques pour le fonctionnement dans des conditions de charge de 50 Ω:

- énergie maximale: 50 J/impulsion à 160 kV sur une charge de 50 Ω
- polarité: positive/négative
- temps de montée (10 % à 90 %) de l'impulsion: 10 ns ± 30 %
- durée d'impulsion (valeur de 50 %): 100 ns ± 30 %
- type de sortie: coaxiale
- impédance de source dynamique (voir note): 50 Ω ± 15 Ω
- forme d'impulsion: exponentielle double
- relation avec l'alimentation: asynchrone

NOTE L'impédance de source peut être vérifiée par la mesure des valeurs de crête de la tension d'impulsion de sortie dans des conditions de charge nulle ou, respectivement, de 50 Ω (rapport 2:1).

6.2.1.3 Générateur LC

Les caractéristiques et les performances des générateurs d'impulsions lentes LC1 et LC2, y compris le dispositif de couplage, doivent être les suivantes:

- forme de tension en circuit ouvert: onde carrée
- forme de la tension de charge: trapézoïdale
- affaissement de tension trapézoïdale pour une charge de 100 Ω: 10 %
- gamme de tension en circuit ouvert: 50 V – 10 % à 500 V + 10 %
- polarité: positive/négative
- temps de montée de tension (10 % à 90 %) pour une charge de 100 Ω: 1 s ± 0,5 s
- durée d'impulsion de tension (valeur de 50 %) pour une charge de 100 Ω: 60 s ± 0,5 s
- impédance de source variable: 100 Ω – 10 % à 300 Ω + 10 %

NOTE Voir l'annexe C pour des détails complémentaires relatifs aux formes d'ondes.

Pour les essais des composants électriques de puissance, un générateur d'injection de courant est approprié car l'impédance de charge pour les fréquences peu élevées (quelques hertz) se situe entre quelques ohms et quelques dizaines d'ohms pour les enroulements de transformateurs et les inductances reliées à la terre. Les caractéristiques et les performances des générateurs d'impulsions lentes LC3 et LC4 sont les suivantes:

- forme de tension en circuit ouvert: onde carrée
- forme de courant de charge: trapézoïdale
- affaissement du courant trapézoïdal pour une charge de 0,1 Ω : 50 %
- impédance de source: inférieure à 0,06 Ω
- courant de crête pour une charge de 0,1 Ω : 1 500 A \pm 100 A
- courant de crête pour une charge de 10 Ω : 25 A \pm 2,5 A
- polarité: positive/négative
- temps de montée du courant (10 % à 90 %) pour une charge de 0,1 Ω : 1s \pm 0,5 s
- durée d'impulsion de courant (valeur à 50 %): 60 s \pm 0,5 s

NOTE Voir l'annexe C pour des détails complémentaires relatifs aux formes d'ondes.

6.2.2 Instrumentation

L'instrumentation d'essai pour les essais d'immunité aux perturbations conduites est la même que celle prescrite par les normes de base référencées au tableau 6. ~~Pour les niveaux qui font référence à cette norme, l'exactitude globale exigée pour le système de mesure doit être dans les limites de $\pm 3,0$ dB dans la gamme f_{\min} à f_{\max} où $f_{\min} = 0,025/(\text{largeur d'impulsion})$ et $f_{\max} = 1,25/(\text{temps de montée d'impulsion})$.~~ Pour les essais spéciaux définis par la présente norme, les techniques de mesures et d'instrumentations décrites dans la CEI 61000-4-33 sont applicables. Il convient que l'exactitude globale exigée du système de mesure se situe dans les limites de $\pm 3,0$ dB dans la plage de fréquences de f_{\min} à f_{\max} où $f_{\min} = 0,025/(\text{largeur d'impulsion})$ et $f_{\max} = 1,25/(\text{temps de montée d'impulsion})$. La gamme de fréquences maximale requise est de 50 kHz à 500 MHz., c'est-à-dire qu'il n'est pas nécessaire que f_{\min} soit inférieur à 50 kHz et que f_{\max} soit supérieur à 500 MHz. ~~Il faut~~ **convient** que la gamme dynamique instantanée globale exigée pour le système de mesure soit d'au moins 40 dB. Pour les niveaux EC9 à EC11, les sondes à haute tension devront surveiller les tensions.

7 Configuration d'essai

7.1 Essai aux perturbations rayonnées

Le volume d'essai d'un simulateur dépend de sa taille physique et des caractéristiques de sa structure rayonnante (antenne). Il est défini comme le volume dans lequel les champs électromagnétiques sont conformes ou supérieurs aux exigences d'intensité et d'uniformité de champ, comme spécifié en 5.4.3 et 5.4.4 pour l'essai aux perturbations IEMN-HA simulées. Si l'objet en essai est de taille trop importante par rapport au volume d'essai, la réponse sera différente de celle correspondant à une onde plane et les résultats d'essai seront discutables.

Pour assurer l'exactitude de la simulation, il est nécessaire de réduire l'interaction entre l'appareil en essai et le simulateur en plaçant l'objet en essai suffisamment loin des éléments rayonnants ou des guides d'ondes du simulateur. Pour un simulateur à onde guidée (plaque parallèle), l'objet en essai doit être situé à plus de 0,3 fois sa dimension transversale totale par rapport aux plaques parallèles. Si l'appareil en essai doit être soumis aux essais en étant sur un plan de sol, il doit être situé à plus de 0,6 fois sa dimension transversale par rapport à la plaque parallèle supérieure. Pour les simulateurs en champ libre (par exemple antennes doublets rayonnants verticales ou horizontales), l'appareil en essai peut, en principe, être situé plus près de la structure du simulateur, parce que l'interaction entre l'appareil en essai et le simulateur n'est pas aussi importante que dans le cas d'un simulateur à plaques parallèles.

L'appareil en essai est généralement décrit comme ayant un volume fini, avec des dimensions déterminées par ses dimensions orthogonales les plus importantes en hauteur, largeur et longueur. Il faut que l'appareil en essai tienne à l'intérieur du volume d'essai du simulateur tel qu'il est défini ci-dessus. Des conducteurs externes «de faible longueur» qui sont associés à l'appareil en essai peuvent être illuminés de manière satisfaisante par le simulateur, (voir article 8). Ces câbles doivent alors être également comptés pour déterminer le volume de l'appareil en essai. Si l'appareil en essai doit être soumis aux essais en champ libre, c'est-à-dire sans être sur un plan de sol, alors il doit être placé sur un support isolant à l'intérieur du simulateur, comme décrit en 8.3.2.1 et 8.3.2.2.

7.2 Essai aux perturbations conduites

Les prescriptions de configuration d'essai pour les essais d'immunité aux perturbations IEMN-HA conduites sont les mêmes que celles qui s'appliquent aux autres essais CEM de la CEI référencés au tableau 6. Cette approche permet la réalisation des essais d'immunité aux perturbations IEMN-HA conduites, soit en tant que prescriptions indépendantes, soit en tant que parties d'autres essais CEM de la CEI. Pour les essais d'immunité aux perturbations IEMN-HA conduites en laboratoire sans renvoi à d'autres essais CEM de la CEI, l'appareil en essai doit être placé sur un support isolant à une hauteur de $0,1 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ au-dessus du plan de sol. Dans le cas d'appareils ou de systèmes sur table, l'appareil en essai doit être placé sur un support isolant à une hauteur de $0,8 \text{ m} \pm 0,08 \text{ m}$ au-dessus du plan de sol. Une connexion de terre doit être installée entre le plan de sol et l'appareil en essai conformément aux spécifications du constructeur. La distance minimale entre l'appareil en essai et d'autres surfaces conductrices est de $0,5 \text{ m}$.

Les matériels et instrumentations d'essai nécessaires aux essais de CEM selon d'autres normes CEI approuvées, conformément aux références du tableau 6, peuvent être utilisés pour les essais d'immunité aux perturbations IEMN-HA conduites. Cependant, pour les niveaux de sévérité spéciaux, comme le niveau X dans une norme de référence, un appareil spécial avec des capacités de tension d'impulsion de crête plus élevées peut être nécessaire. Pour les essais d'immunité aux perturbations IEMN-HA conduites finales, il ~~fa~~**ut** ~~con~~**vient** que l'instrumentation soit capable d'enregistrer l'impulsion injectée et la réponse de l'appareil ou du système jusqu'à 60 s.

8 Procédure d'essai

Les essais d'immunité aux perturbations conduites et rayonnées peuvent être réalisés séparément. Il n'existe pas de prescriptions pour la réalisation d'essais simultanés de ces deux types de contraintes.

Si l'ensemble du système, y compris tous les conducteurs externes «courts», peut être illuminé de manière satisfaisante au cours d'un essai rayonné, alors les essais de perturbations conduites initiales peuvent ne pas être requis pour ces câbles (voir 8.3.2.2 pour la procédure). En outre, les essais de perturbations conduites peuvent ne pas être nécessaires pour les accès d'antenne, si l'antenne peut subir les essais de contrainte IEMN-HA simulée avec une orientation pour une réponse maximale. Cependant, il faut que tous les accès connectés aux lignes d'alimentation électrique, de télécommunication ou aux autres lignes de grande longueur subissent des essais d'immunité aux perturbations conduites.

Les essais d'immunité aux perturbations IEMN-HA doivent être conduits conformément à un plan d'essai qui décrit l'appareil à soumettre aux essais, le niveau de sévérité et les formes d'ondes d'essai, les conditions climatiques, les principaux modes opérationnels et les critères pour satisfaire aux prescriptions d'immunité. L'environnement (à la fois climatique et électromagnétique) du laboratoire ou du dispositif d'essai aux perturbations IEMN-HA ne doit pas influencer les résultats d'essai. Pendant les essais, il est important de surveiller les appareils pour en classer les performances comme spécifié à l'article 9. Si l'appareil reçoit ou envoie des données à d'autres appareils d'un système, il faut envoyer et recevoir les mêmes données ou des données simulées avec l'appareil en essai. Ceci doit permettre une évaluation des performances de l'appareil pendant l'essai.

Si l'appareil en essai ne passe pas avec succès les exigences d'essai et si des matériels de diagnostic sont connectés au système ou l'appareil, ces sondes et ces câbles doivent être retirés et l'essai doit être à nouveau réalisé pour s'assurer que l'instrumentation ajoutée n'est pas à l'origine de l'échec de l'essai. Le rapport d'essai doit clairement identifier la présence de tous les câbles externes connectés à l'appareil en essai, qu'ils fassent partie de l'appareil ou du système de mesure.

L'appareil en essai doit subir les essais dans chaque mode de fonctionnement principal qui est spécifié dans le plan d'essai. Pour les essais d'immunité aux perturbations conduites, on doit à la fois utiliser les formes d'ondes positive et négative. Pour les essais d'immunité aux perturbations rayonnées, seule une polarité de la forme d'onde est nécessaire.

Les essais de laboratoire doivent être conduits avec les conditions d'environnement identifiées en 8.1. Les essais sur site ne sont pas appropriés pour les essais de réception d'immunité mais ces essais peuvent être utilisés pour vérifier l'immunité de l'appareil installé ainsi que l'immunité du système. Pour les essais sur site, les conditions ambiantes décrites en 8.1 ci-dessous sont souhaitables mais ne sont pas requises.

8.1 Conditions climatiques

Les essais aux perturbations IEMN-HA doivent être réalisés dans des conditions climatiques normalisées conformément à la CEI 60068-1 (1988):

- température: 15°C à 35 °C;
- humidité relative: 25 % à 75 %;
- pression atmosphérique: 86 kPa à 106 kPa.

D'autres plages de conditions climatiques doivent être également prises en compte si l'appareil est conçu et/ou spécifié pour fonctionner pour ces conditions ou si l'essai est prévu à l'extérieur. Les conditions climatiques doivent être mesurées et notifiées dans le rapport d'essai.

8.2 Niveau de sévérité et expositions d'essai

Il est important de réaliser certaines expositions d'essai en dessous du niveau de protection des SPD et également à un niveau de tension suffisamment bas pour éviter toute formation d'arc à l'intérieur du système, ce qui pourrait entraîner des dommages. ~~Ainsi, chaque niveau de sévérité doit comprendre trois amplitudes d'essai réelles, commençant deux niveaux en dessous du niveau de sévérité spécifié, qui est considéré comme étant en dessous du niveau de protection des SPD et en dessous du seuil d'amorçage.~~ Ainsi, il convient que chaque essai d'immunité comprenne trois amplitudes d'essai réelles, le niveau de l'essai d'immunité du tableau, à 50 % du niveau et à 25 % du niveau. Il convient que l'essai débute au niveau le plus faible, qui est considéré comme étant en dessous du niveau de protection procuré par les SPD et en dessous du seuil d'amorçage. Les niveaux de sévérité EC10 et EC11 constituent des exceptions dans la mesure où ils possèdent un niveau principal et des sous-niveaux complémentaires. Si les niveaux inférieurs doivent être inférieurs au niveau de protection **en tension**, une amplitude d'essai de départ inférieure doit être spécifiée. Chaque impulsion d'essai doit utiliser la même forme d'onde que celle du niveau de sévérité spécifié.

Pour les essais d'immunité aux perturbations rayonnées, un niveau de sévérité conforme au tableau 1 doit être spécifié. On doit réaliser au moins deux expositions d'essai à chacune des trois amplitudes d'essai (**6 expositions**) pour chaque orientation et mode de fonctionnement principal de l'objet d'essai.

Pour les essais d'immunité aux perturbations conduites, **il convient de spécifier** les niveaux de sévérité pour chaque régime temporel approprié ~~doivent être spécifiés~~ (voir tableaux 2, 3, 4 et 5). Les essais d'immunité aux perturbations conduites, comprenant à la fois l'excitation en mode commun et en mode différentiel avec à la fois les formes de polarité positive et négative sont normalement prescrits pour les accès d'alimentation électrique et de télécommunication. Des essais en mode différentiel doivent être conduits avec la même amplitude que les essais en mode commun. Pour les câbles d'E/S et les câbles blindés, les essais en mode différentiel ne sont pas nécessaires. ~~On doit réaliser au moins deux d'essais à chacune des six amplitudes d'essai (trois impulsions positives et trois négatives), pour chaque mode de fonctionnement principal de l'objet en essai.~~ Il convient de réaliser au moins deux expositions d'essais à chacune des six amplitudes d'essai (trois impulsions positives et trois négatives). Ceci donne lieu à un total de 12 expositions pour chaque mode de fonctionnement principal de l'objet d'essai.

8.3 Procédure d'essai pour les perturbations rayonnées

8.3.1 Mesures des paramètres d'essai

Les paramètres climatiques définis en 8.1 doivent être mesurés par l'opérateur d'essai et être consignés. Les caractéristiques du dispositif d'essai doivent être mises à la disposition de l'opérateur. Pour cela, une série de mesure de champs électromagnétiques à l'intérieur du volume d'essai hors de la présence de l'appareil en essai est effectuée. Cette information doit également inclure une évaluation qui indique que les exigences d'uniformité du champ et de forme d'onde indiquées en 5.4.3, 5.4.4.1 ou 5.4.4.2 sont satisfaites. Une mesure de champ électrique de référence doit être enregistrée pour chaque impulsion de champ.

8.3.2 Procédure d'essai des perturbations rayonnées

Un dispositif d'essai aux rayonnements de petite dimension peut être utilisé pour soumettre l'appareil aux essais; cependant des essais d'immunité aux perturbations conduites sont également exigés sur tous les accès de câbles. Un petit système peut subir les essais dans un simulateur de perturbations IEMN-HA de grande taille et potentiellement satisfaire aux prescriptions d'immunité contre les perturbations conduites pour de nombreux accès de câbles. Cependant, les lignes de grande longueur comme les lignes d'alimentation électrique en courant alternatif et les lignes de télécommunication ne peuvent pas subir les essais de manière appropriée quel que soit le simulateur de perturbations IEMN-HA utilisé. Par conséquent, les essais d'immunité aux perturbations conduites sont toujours exigés pour ces accès.

Il est reconnu que les simulateurs de perturbations IEMN-HA de grande taille sont mieux adaptés pour réaliser les essais de systèmes lorsque des éléments multiples d'appareil peuvent fonctionner ensemble. Cependant, ce n'est pas une prescription de cette norme pour que les essais au niveau système soient réalisés dans un tel simulateur.

~~Chaque essai d'immunité à un niveau de sévérité spécifié comprend des expositions à trois niveaux: le niveau de sévérité spécifié et les deux niveaux immédiatement inférieurs. Si un seul niveau plus faible est défini par cette norme, alors on ne doit utiliser qu'un seul niveau. Si le niveau de sévérité le plus faible est spécifié, alors seul ce niveau d'exposition est nécessaire pour l'essai d'immunité. On doit réaliser un minimum de deux impulsions de champ pour chaque niveau d'exposition.~~

Chaque essai d'immunité à un niveau de sévérité spécifié comprend des expositions à trois amplitudes d'essais: le niveau de sévérité spécifié, à 50 % du niveau et à 25 % du niveau. Un minimum de deux impulsions de champ doit être réalisé pour chacun des trois niveaux d'exposition.

8.3.2.1 Dispositif d'essai aux rayonnements de petite dimension

L'approche de base utilisée dans cette procédure consiste à soumettre l'appareil et les petits systèmes aux essais dans un dispositif d'essai de laboratoire, comme une cellule TEM, une chambre anéchoïque ou un dispositif d'essai à l'air libre. L'appareil en essai doit être placé sur un support isolant à une hauteur de $0,1 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ au-dessus du plan de sol à l'intérieur du volume d'essai et tous les câbles d'appareil doivent être utilisés d'une manière compatible avec le fonctionnement normal de l'appareil. La connexion à la terre entre le plan de sol et l'appareil en essai doit être réalisée conformément aux spécifications du fabricant. Il est nécessaire de contrôler et d'indiquer la longueur et la position des câbles associés à l'appareil en essai. Orienter le câblage afin d'obtenir un couplage minimal vers les composants sources de champ électrique et magnétique dans le dispositif d'essai. Les essais complémentaires d'immunité aux perturbations conduites pour tenir compte du couplage de ces câbles doivent être réalisés séparément. L'appareil en essai doit subir une rotation pour exposer tous ses côtés (normalement six côtés) aux champs d'impulsions, bien que des considérations pratiques puissent limiter le nombre des rotations.

Si la méthode de surveillance implique des mesures à l'intérieur de l'appareil en essai, les sondes et les câbles concernés doivent être positionnés avec soin de manière à réduire les effets néfastes sur les mesures. Les câbles à fibres optiques sans matériau métallique sont particulièrement recommandés pour de telles mesures.

8.3.2.2 Procédure avec un simulateur de perturbations IEMN-HA de grande taille

Une analyse préalable aux essais est nécessaire pour les essais avec des simulateurs de type II étant donné que ces dispositifs d'essai ne satisfont pas aux spécifications d'immunité aux perturbations rayonnées données en 5.4.2. L'adéquation de l'essai doit être démontrée en comparant le résultat de l'interaction et du couplage du champs simulé avec celui de l'impulsion théorique décrite en 5.4.2.

L'approche de base utilisée dans cette procédure d'essais consiste à soumettre une partie d'appareil de grande taille (ou un système autonome) à un environnement de perturbations IEMN-HA rayonnées initiales dans un simulateur de perturbations IEMN-HA de grande taille. Compte tenu des volumes d'essai importants dans certains simulateurs (d'environ $1\,000 \text{ m}^3$), le système et ses câbles externes et de liaison peuvent être exposés simultanément. L'avantage le plus significatif de ce type d'essai est que différentes parties d'appareils interconnectés peuvent être soumises aux essais pendant des fonctionnements réalistes. De plus, dans certains cas, il est possible d'éliminer le nombre d'essais au niveau de l'appareil et ainsi de réduire la quantité d'essais d'immunité aux perturbations conduites. Cependant, il faut que tous les accès connectés aux lignes d'alimentation électrique, de télécommunication ou autres lignes de grande longueur subissent des essais d'immunité aux perturbations conduites.

Pour appliquer cette procédure, l'appareil en essai doit être placé à l'intérieur du simulateur sur un support isolant si nécessaire et les câbles externes du système doivent être orientés de façon à augmenter la valeur du courant induit à chaque point d'entrée (PdE) de l'appareil. Ceci doit être confirmé en mesurant le courant qui entre dans chaque PdE. Les courants mesurés doivent être comparés avec les niveaux d'essai d'immunité aux perturbations conduites requis à chaque PdE. Si les courants induits produits pendant les essais de champ rayonné dépassent les prescriptions d'immunité aux perturbations conduites avec des valeurs de crête plus importantes, des temps de montée plus faibles et des largeurs d'impulsions plus importantes, et si le système continue à fonctionner normalement, alors l'essai d'immunité aux perturbations conduites n'est plus nécessaire pour le PdE concerné. Si nécessaire, des essais rayonnés peuvent être réalisés à des niveaux de champ plus élevés pour augmenter les courants induits à chaque PdE. Cette procédure est utile uniquement si le système est capable de fonctionner de manière acceptable pendant une telle exposition. Si ces niveaux de courants induits ne peuvent pas être atteints, l'essai d'immunité aux perturbations conduites doit être réalisé.

Si nécessaire, l'appareil en essai doit être placé sur un support isolant à une hauteur de $0,1 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ au-dessus du plan de sol à l'intérieur du volume d'essai. Dans le cas d'appareil ou de systèmes de table, l'appareil en essai doit être placé sur un support isolant à une hauteur de $0,8 \text{ m} \pm 0,08 \text{ m}$ au-dessus du plan de sol à l'intérieur du volume d'essai. Une connexion de terre doit être réalisée entre le plan de sol et l'appareil en essai, conformément aux spécifications du constructeur. Si possible, l'appareil en essai doit subir une rotation pour exposer les six faces aux champs. Les câbles externes courts qui peuvent être contenus à l'intérieur du volume d'essai doivent être orientés pour une réponse maximale à chaque accès de câble pendant au moins une des orientations de l'appareil en essai.

8.4 Procédure d'essai d'immunité aux perturbations conduites

La procédure d'essai décrite dans la norme de base référencée au tableau 6 doit être utilisée pour les essais d'immunité aux perturbations conduites, à l'exception de ce qui suit. Les essais sont prescrits pour tous les types de lignes conductrices (même pour la partie métallique longitudinale des câbles à fibres optiques), qui sont connectés au système et à l'appareil. Ceci inclut les lignes d'alimentation électrique, de communication, de signal, de commande et de mise à la terre.

Pour les câbles blindés, dans lesquels le blindage du câble est relié à un blindage à chaque extrémité, l'écran du câble doit être soumis à la contrainte prescrite. Si un câble n'est pas blindé ou si le blindage n'est pas connecté électriquement sur le blindage de l'appareil, alors les fils internes doivent être directement soumis à la contrainte. Le courant global sur ces fils internes doit satisfaire aux prescriptions d'essai.

~~Chaque essai d'immunité à un niveau de sévérité spécifié comprend des expositions à trois niveaux: le niveau de sévérité spécifié et les deux niveaux immédiatement inférieurs. Si un seul niveau inférieur est défini par cette norme, alors un seul niveau doit être utilisé. Si le niveau de sévérité le plus faible est spécifié, alors seul ce niveau d'exposition est nécessaire pour l'essai d'immunité. Un minimum de deux impulsions positives et de deux impulsions négatives doit être réalisé pour chaque niveau d'exposition.~~

Chaque essai d'immunité à un niveau de sévérité spécifié comprend des expositions à trois niveaux d'exposition: le niveau de sévérité spécifié, à 50 % du niveau et à 25 % du niveau. Un minimum de deux impulsions positives et de deux impulsions négatives doit être réalisé pour chacun des trois niveaux d'exposition.

8.5 Exécution de l'essai

L'essai doit être réalisé conformément au programme d'essai. Les conditions d'essai doivent être appliquées lorsque l'appareil en essai est dans l'un de ses modes de fonctionnement principaux dans des conditions de fonctionnement normales, comme défini dans le programme d'essai. Pour chaque niveau d'essai, les impulsions doivent être appliquées avec un temps suffisant entre impulsions pour vérifier la dégradation ou les dommages du système. Après chaque niveau, les performances de fonctionnement de l'appareil en essai doivent être vérifiées. Si on observe une dégradation temporaire de l'appareil en essai, on doit répéter l'essai au niveau duquel la dégradation s'est produite.

8.5.1 Exécution de l'essai d'immunité aux perturbations rayonnées

L'essai d'immunité aux perturbations rayonnées doit être réalisé sur la base d'un programme d'essai, y compris la vérification des performances de l'appareil en essai, comme défini dans la norme de produit ou à défaut, la spécification technique.

L'appareil en essai doit être en condition de fonctionnement normale. On doit développer un tableau de configuration d'essai comprenant les configurations de fonctionnement de l'appareil en essai, les états principaux de fonctionnement et les orientations par rapport à la direction de propagation des ondes. Pour chaque configuration d'essai, le programme d'essai doit spécifier

- les niveaux d'essai: le niveau de sévérité choisi, plus les deux niveaux immédiatement inférieurs;
- le nombre d'expositions à chaque niveau (au moins deux expositions sont prescrites);
- le PdE à évaluer;
- la description des positions des câbles et des mesures à réaliser;
- les appareils auxiliaires éventuels;
- la polarité et l'angle d'incidence des champs simulés;
- les détails de la configuration d'essai, lorsqu'elle est différente de celle spécifiée à l'article 7;
- les critères d'acceptation/de rejet.

8.5.2 Exécution de l'essai d'immunité aux perturbations conduites

L'essai d'immunité aux perturbations conduites doit être réalisé sur la base d'un programme d'essai, y compris la vérification des performances de l'appareil en essai, comme défini dans la norme de produit, ou à défaut, la spécification technique.

L'appareil en essai doit être dans des conditions de fonctionnement normales. On doit développer un tableau de configuration d'essai comprenant les configurations de fonctionnement de l'appareil en essai et les états principaux de fonctionnement. Pour chaque configuration d'essai, le programme d'essai d'immunité aux perturbations conduites doit spécifier

- le type des essais à réaliser (initial, intermédiaire et/ou final);
- les modes d'essai (les modes commun et différentiel sont tous deux normalement prescrits pour les essais initiaux et intermédiaires sur les câbles connectés aux accès d'alimentation en courant continu et alternatif et aux accès de télécommunication);
- les niveaux d'essai en mode commun: le niveau de sévérité choisi, plus les deux niveaux immédiatement inférieurs;
- les niveaux d'essai en mode différentiel: égalité avec les niveaux d'essai en mode commun;
- la polarité des formes d'ondes des tensions d'essai/des courants (les deux polarités sont obligatoires);
- le nombre d'applications prescrites de chaque niveau d'exposition (au moins deux);
- les accès de câble (conducteur) de l'appareil en essai à soumettre aux essais;
- l'ordre d'application de l'impulsion d'essai aux accès de l'appareil en essai, l'un après l'autre, ou deux câbles connectés à plus d'un accès, etc.;
- les appareils auxiliaires éventuels;
- la configuration d'essai, lorsqu'elle est différente de celle spécifiée à l'article 7;
- les critères d'acceptation /de rejet.

NOTE Les essais en mode différentiel sont recommandés pour les accès des câbles d'alimentation électrique et de télécommunication.

Le programme d'essai doit faire l'objet d'un accord entre le constructeur et le laboratoire d'essai ou l'utilisateur. Les essais peuvent être réalisés sans sondes, si on suspecte qu'elles modifient les résultats d'essai ou interfèrent avec eux d'une quelconque manière.

9 Résultats d'essai et rapports d'essai

Le rapport d'essai doit contenir des informations détaillées concernant l'appareil en essai, les conditions d'essai, le mode de fonctionnement, les résultats d'essai et la réponse de l'appareil à chaque exposition d'essai. Pour les essais d'immunité aux perturbations rayonnées, le rapport doit contenir le champ mesuré, les informations sur le générateur de champ IEMN-HA

ainsi que les résultats d'étalonnage de l'appareil de diagnostic, la relevé de champ dans le volume d'essai, et la composante temporelle du champ électrique et son contenu spectral associé. Une évaluation de tous les impacts néfastes dus aux variations du spectre de fréquence du champ électrique comparé au spectre théorique doit être présentée dans le rapport.

La performance de l'appareil en essai doit être classée selon un ou plusieurs des éléments suivants:

- a) performance normale dans les limites des spécifications;
- b) dégradation temporaire ou perte de fonction ou performance autorécupérable;
- c) dégradation temporaire ou perte de fonction ou performance qui nécessite une intervention de l'opérateur ou une remise à zéro du système;
- d) dégradation ou perte de fonction qui n'est pas récupérable en raison de la perte de données ou de dommages affectant l'appareil;
- e) dégradation qui peut conduire à un problème de sécurité (par exemple incendie).

Pour les essais de réception, le programme d'essai et l'interprétation des résultats d'essai doivent être décrits dans une norme de produit spécifique. Lorsque les circonstances le dictent, les comités de produit peuvent modifier les catégories de résultats d'essai décrites ci-dessus.

Annexe A (informative)

Notes explicatives concernant les niveaux d'essai

Les essais d'immunité recommandés dans cette norme ont été déterminés par une prise en compte attentive, à la fois de la diversité des emplacements des appareils et des niveaux d'essai correspondants à ces emplacements. Le choix des niveaux d'essai doit être basé sur le niveau de protection à l'emplacement de l'appareil, donné par les conditions d'installation (bâtiment, protection contre la foudre, etc.), comme cela est défini dans la CEI 61000-5-3, et le degré de fiabilité requis des appareils. Les niveaux et les formes d'ondes pour les contraintes IEMN-HA rayonnées et conduites sont définis dans la CEI 61000-2-11, pour les concepts de protection identifiés dans la CEI 61000-5-3. Les niveaux de probabilité, très élevé (99 %), élevé (90 %) et nominal (50 %) de la CEI 61000-2-11 ont été utilisés pour déterminer les contraintes pour les prescriptions de performance des appareils, très élevée, respectivement élevée et nominale.

Pour simplifier et réduire le nombre de niveaux d'essai, les prescriptions de deux ou plus de deux concepts de protection ont été combinées. De plus, certaines contraintes conduites ont été modifiées pour tenir compte de toutes les réductions auxquelles on peut s'attendre en raison des amorçages qui peuvent intervenir, ou de la protection contre la foudre assurée par des parafoudres MT ou les SPD à basse tension. L'expérience dans le domaine des essais des perturbations IEMN-HA a montré que les transitoires à front raide de courte durée entraîneront un amorçage à un niveau proche de deux fois celui de l'onde de 1,2/50 μs définie dans la CEI 61000-4-5. Ainsi, si un isolateur amorce à 110 kV pour l'onde de 1,2/50 μs , il amorcera à environ 220 kV pour les transitoires IEMN-HA induites à front raide de courte durée. Le niveau de protection de tension sur une ligne MT protégée par un parafoudre à varistance en oxyde métallique (MOV) avec des fils courts est environ de trois fois celui pour l'onde 1,2/50 μs [1]³. Par exemple, le niveau de protection en tension pour un parafoudre MOV de 9 kV est d'environ 40 kV pour une onde de 20 kA 1,2/50 μs tandis que la perturbation IEMN-HA conduite serait limitée à environ trois fois 40 kV soit 120 kV. Noter que la protection de tension du parafoudre de 120 kV est considérablement inférieure à celle fournie par la tension d'amorçage d'un isolateur, c'est-à-dire 220 kV.

De même, le niveau de protection de tension sur une ligne BT protégée par un SPD avec des fils courts est également d'environ trois fois celui pour l'onde de 1,2/50 μs , voir [2] et [3]. Le niveau supérieur de protection de tension pour une surcharge à front raide est dû en grande partie à l'inductance des fils, qui est d'environ 1 $\mu\text{H}/\text{m}$. Pour les informations sur l'installation correcte des SPD pour réduire l'inductance des fils, voir [2]. Un SPD correctement installé donne un niveau de protection de tension égal à environ quatre fois la tension de fonctionnement pour une onde de 1,2/50 μs , avec un courant de surcharge jusqu'à plusieurs kiloampères, conformément à [2].

A.1 Niveaux d'essai d'immunité aux perturbations rayonnées

Les niveaux R1, R4 et R7 sont les niveaux définis par la CEI 61000-2-11. Les niveaux R2, R3, R5 et R6 sont des niveaux intermédiaires. Le niveau RX correspond à un niveau de perturbation électromagnétique particulier défini pour une application spéciale (par exemple, un niveau plus élevé dû à un renforcement de champ à proximité de structures métalliques pour assurer une marge plus importante de durcissement, etc.). Deux des niveaux définis par la CEI 61000-2-11, (5 V/m) et (50 V/m), non significatifs comme niveaux d'essai, n'ont pas été utilisés dans cette norme.

³ Les chiffres indiqués entre crochets renvoient à l'article A.3.

Les niveaux d'essai d'immunité aux perturbations rayonnées sont représentés au tableau A.1. Les niveaux sont basés sur les concepts de protection décrits dans la CEI 61000-5-3. Dans le concept 4, un affaiblissement minimal de 40 dB est fourni par une enceinte blindée avec un simple écran RF. Dans les concepts 2 et 3, un affaiblissement de 20 dB est fourni par un bâtiment en béton avec barres nervurées, un bâtiment à structures métalliques à la masse ou une structure enterrée.

Tableau A.1 – Niveaux d'essai d'immunité aux perturbations rayonnées

Niveau d'essai	Essai prescrit pour les appareils et les systèmes avec la protection suivante	Concept de protection ^a	Valeur de crête de champ $E_{crête}$ KV/m
R1	Affaiblissement de 40 dB	4	0,5
R2	Valeur intermédiaire		1
R3	Valeur intermédiaire		2
R4	Affaiblissement de 20 dB	2A, 2B, 3	5
R5	Valeur intermédiaire		10
R6	Valeur intermédiaire		20
R7	Pas d'affaiblissement de champ	1A, 1B	50
RX	Applications spéciales		X

^a Selon CEI 61000-5-3.

Les essais rayonnés pour perturbations IEMN-HA intermédiaires et finales ne sont pas prescrits dans la mesure où ces environnements ne donnent lieu à des couplages significatifs qu'avec des lignes de très grande longueur et que les essais d'environnement à perturbations conduites sont mieux adaptés.

A.2 Niveaux d'essai d'immunité aux perturbations conduites

Les niveaux d'essai pour les trois régimes temporels de perturbations conduites sont les suivants:

- les niveaux EC concernent les environnements à perturbations IEMN-HA conduites initiales;
- les niveaux IC concernent les environnements à perturbations IEMN-HA conduites intermédiaires;
- les niveaux LC concernent les environnements à perturbations IEMN-HA conduites finales.

A.2.1 Niveaux d'essai d'immunité aux perturbations initiales

A.2.1.1 Environnement à perturbations IEMN-HA conduites initiales

La classification des environnements à perturbations IEMN-HA conduites initiales en mode commun, comme présentée dans la CEI 61000-2-11, est donnée au tableau A.2.

**Tableau A.2 –Environnements à perturbations IEMN-HA
conduites initiales en mode commun**

Concept de protection	Probabilité 50 % V_{oc}/I_{sc}	Probabilité 90 % V_{oc}/I_{sc}	Probabilité 99 % V_{oc}/I_{sc}	Ligne enterrée V_{oc}/I_{sc}
6	5 V/0,05 A	15 V/0,15 A	40 V/0,4 A	5 V/0,05 A
5	50 V/0,5 A	150 V/1,5 A	400 V/4 A	50 V/0,5 A
3 et 4	500 V/5 A	1500 V/15 A	4 kV/4 0 A	500 V/5 A
1B et 2B	20 kV/50 A	60 kV/150 A	160 kV/400 A	2,5 kV/50 A
1A et 2A	200 kV/500 A	600 kV/1,5 kA	1,6 MV/4,0 kA	25 kV/500 A

La forme d'onde pour une liaison enterrée est donnée comme une impulsion unidirectionnelle, de 25/500 ns avec une impédance de source de 50 Ω . Des ondes sinusoïdales amorties avec une fréquence de 10 MHz sont utilisées pour les perturbations conduites jusqu'à 4 kV en provenance de lignes aériennes. Les transitoires provenant de lignes aériennes supérieures ou égales à 8 kV sont des ondes 10/100 ns de la CEI 61000-2-11. Cependant, les valeurs supérieures à 8 kV indiquées au tableau A.3 pour les cas de claquage de l'isolation BT ou des SPD sont appropriées. Ces cas sont tous représentés par les ondes de 5/50 ns.

Les transitoires à haute tension associées aux concepts 1 et 2 présentés au tableau A.2 ne sont pas applicables aux appareils à basse tension situés à l'intérieur de bâtiments, en raison de la tenue de l'isolation des circuits à basse tension et des effets des dispositifs de protection contre la foudre. La protection contre la foudre est supposée comme nominale, c'est-à-dire que l'emploi d'un SPD ou d'un parafoudre offre une protection moindre que le niveau optimal de protection de tension. Par exemple, pour un SPD MOV ayant des longueurs de fils de 0,1 m et présentant une probabilité de perturbations conduites de 50 % pour le concept 2B d'une onde 0,5 kA 10 x 100 ns décrite dans la CEI 61000-2-11, le niveau de protection en tension est de

$$(50 \text{ kA}/\mu\text{s}) \times 0,1 \mu\text{H} + 4,1 \times 690 \text{ V} = 7,8 \text{ kV}.$$

Des tensions de choc plus élevées entraîneront des niveaux de tension de protection plus élevés en raison de l'inductance des fils. Ce niveau sera affaibli en certains points à l'intérieur du bâtiment, car les tensions de choc à front raide subissent un affaiblissement important lors de leur propagation dans les lignes d'énergie; des réductions interviennent à la fois sur l'amplitude et la raideur du front [3].

Pour les accès d'alimentation en courant alternatif connectés aux circuits BT sans protection contre la foudre, la tension de crête est donnée comme étant approximativement égale à deux fois le niveau de foudre sévère de 8 kV spécifié dans la CEI 61000-2-5 pour les circuits en courant alternatif de 120-690 V. Le niveau de 8 kV est proche de la limite de tension des circuits d'alimentation des bâtiments, en raison des distances d'amorçage. Cependant, pour les cas de probabilité de 90 % et de 99 % dans les concepts 1A et 2A, un facteur de 2,5 fois le niveau de foudre sévère est utilisé de manière conservatrice. Les valeurs basées sur la justification de limiter les crêtes de tension dans les circuits basse tension sont données au tableau A.3.

Tableau A.3 – Environnements à perturbations IEMN-HA conduites initiales dans les circuits BT (circuits basse tension jusqu'à 1 000 V)

Concept de protection	Probabilité 50 % V_{oc}/I_{sc}	Probabilité 90 % V_{oc}/I_{sc}	Probabilité 99 % V_{oc}/I_{sc}	Ligne enterrée V_{oc}/I_{sc}
6	5 V/0,05 A	15 V/0,15 A	40 V/0,4 A	5 V/0,05 A
5	50 V/0,5 A	150 V/1,5 A	400 V/4 A	50 V/0,5 A
3 et 4	500 V/5 A	1 500 V/15 A	4 kV/4 0 A	500 V/5 A
1B et 2B	8 kV/160 A	16 kV/160 A	16 kV/160 A	8 kV/160 A
1A et 2A	16 kV/320 A	20 kV/320 A	20 kV/320 A	25 kV/200 A

On considère les lignes de données d'entrée et de sortie (E/S) et les lignes d'énergie en courant continu comme des câblages internes de bâtiments sans blindage jusqu'à 100 m de longueur. On estime que la tenue de l'isolation est égale à celle des circuits d'énergie BT. Pour les lignes inférieures à 100 m, on peut réduire la tension de crête de manière proportionnelle. Par exemple, on peut admettre qu'une ligne de 50 m soit soumise à une tension d'impulsion égale à la moitié de celle d'une ligne de 100 m.

Les environnements à perturbations IEMN-HA conduites initiales pour différentes applications sont présentés au tableau A.4.

Tableau A.4 – Environnements à perturbations conduites IEMN-HA initiales

Concept de protection	Emplacement de l'appareil	Probabilité pour les lignes de grande longueur (pour-cent)	Perturbations conduites Courant alternatif	Perturbations conduites Télécommunications	Perturbations conduites Accès de données E/S courant continu
5	A l'intérieur d'une pièce ou d'un bâtiment avec un bon blindage RF (60 dB) et protection PdE	99	400 V	400 V	80 V
4	A l'intérieur d'une pièce ou d'un bâtiment avec blindage RF de nominal à bon (40 dB) et protection nominale contre les surtensions et les perturbations électromagnétiques	90	2 kV	2 kV	1 kV
2B	A l'intérieur d'une structure avec blindage à barre nervurée (20 dB) et protection nominale contre la foudre sur l'alimentation en courant alternatif	50	8 kV	8kV limitée par un tube à gaz ou une autre protection	2 kV
1A	A l'intérieur d'un bâtiment ou d'une habitation à blindage de faible qualité sans protection contre la foudre sur ligne de transport secondaire (BT)	50 99	16 kV 25 kV ^a	8kV limitée par un tube à gaz ou une autre protection	12 kV
1B	Directement connecté à la ligne d'énergie de tension primaire (MT) avec protection nominale contre la foudre	90	160 kV ^b	-----	-----
NOTE Les concepts de protection (à l'intérieur des bâtiments) constituent une combinaison des effets probables des coups de foudre et des concepts de protection donnés dans la CEI 61000-2-11.					
^a Pour les lignes enterrées sans claquage de l'isolation. Le claquage de l'isolation peut modifier la perturbation réelle.					
^b Si la protection contre la foudre n'est pas utilisée, utiliser un niveau de deux fois le niveau d'isolation de base (BIL) pour l'impulsion de 1,2/50 µs mais inférieure à 1,6 MV. Il convient que l'impédance de source soit égale à 400 ± 100 Ω.					

A.2.1.2 Choix des niveaux d'essai

Les contraintes avec des amplitudes de courant inférieures à 0,5 A ne sont pas considérées comme significatives comme niveau d'essai.

- Le niveau d'essai EC1 avec un courant de court circuit de 1 A est utilisé pour vérifier que tous les accès de données et de télécommunication sont bien protégés conformément aux concepts 5 et 6.
- Les niveaux d'essai EC2 et EC3 sont utilisés pour essayer les accès d'énergie à 120 V et à 240 V en courant alternatif, conformément, respectivement, aux concepts 5 et 6.
- Le niveau d'essai EC4 correspond aux niveaux définis dans la CEI 61000-2-11 pour les concepts 3 ou 4 avec une probabilité de 50 %, c'est-à-dire une probabilité de 50 % que les perturbations conduites pour le concept 3 soient inférieures ou égales à la valeur présentée dans la CEI 61000-2-11. Le niveau d'essai EC4 correspond également au concept 5 avec une probabilité de 99 %.

- Les niveaux d'essai EC5 et EC6 correspondent à des niveaux définis pour les concepts 3 ou 4 avec une probabilité de 90 %, respectivement de 99 %, alors que EC7 correspond également au concept 4 avec une probabilité de 99%.
- Le niveau d'essai EC8 correspond à un niveau défini dans la CEI 61000-2-11 pour le concept 1B ou 2B, mais il inclut les effets potentiels d'un dépassement du niveau de claquage de l'isolation du circuit et du niveau de protection en tension de la protection contre la foudre, c'est-à-dire les SPD à basse tension.
- Le niveau EC9 est destiné aux essais des appareils raccordés au niveau du secteur dans les bâtiments sans protection BT contre la foudre.
- Le niveau EC10 est destiné aux essais des appareils situés dans les bâtiments ayant des alimentations enterrées et sans protection BT contre la foudre au niveau du secteur.
- Le niveau EC11 est destiné aux essais des appareils directement fixés à une ligne d'énergie à basse tension sans protection contre la foudre.
- Les autres niveaux sont des valeurs intermédiaires.

Les niveaux d'essai choisis sont représentés au tableau 2.

Les niveaux d'essai correspondent au tableau A.3 comme représenté au tableau A.5.

Tableau A.5 – Niveaux d'essai des environnements à perturbations conduites IEMN-HA initiales pour les circuits BT (Circuits basse tension jusqu'à 1000 V)

Concept de protection	Probabilité 50 %	Probabilité 90 %	Probabilité 99 %	Ligne enterrée
6	-----	-----	EC1	-----
5	EC1	EC2	EC3	-----
3 et 4	EC4	EC5	EC6 EC7	EC10 à 1 kV
1B et 2B	EC8	EC9	EC9	EC10 à 8 kV
1A et 2A	EC9	EC11 à 20 kV	EC11 à 20 kV	EC10

Les niveaux d'essai d'immunité des environnements à perturbations conduites IEMN-HA initiales pour différentes applications sont présentés au tableau A.6.

Tableau A.6 – Exemple de niveaux d'essai de perturbations IEMN-HA initiales pour différentes applications

Concepts de protection	Emplacement de l'appareil	Niveau de sévérité pour lignes de grande longueur (pour-cent)	Perturbations conduites Courant alternatif	Perturbations conduites Télécommunications	Accès de données E/S
6 (intérieur)	A l'intérieur d'une pièce ayant un blindage RF excellent (80 dB) et une protection PdE (80 dB)	99	EC4	EC1	-----
5 (intérieur)	A l'intérieur d'une pièce ou d'un bâtiment avec un bon blindage RF (60 dB) et une protection PdE	99	EC4	EC3	EC1
4 (intérieur)	A l'intérieur d'une pièce ou d'un bâtiment avec un blindage RF de nominal à bon (40 dB) et une protection contre les surtensions et les perturbations électromagnétiques	90	EC5	EC5	EC4
2B (intérieur)	A l'intérieur d'une structure avec barre secteur en courant alternatif et protection contre la foudre	50	EC8	EC8	EC5
1A (intérieur)	A l'intérieur d'un bâtiment ou d'une habitation à blindage de faible efficacité et sans protection contre la foudre sur la ligne d'énergie à basse tension	50 99	EC9 EC10 ^a	EC8 EC10 ^a	EC9
1B (extérieur)	Directement connecté à la ligne d'énergie de moyenne tension avec protection nominale contre la foudre	90	EC 11	-----	-----
NOTE 1 Les blindages associés aux principes de protection sont donnés dans la CEI 61000-2-11, tableau 1. Le niveau EC4 est le niveau minimal recommandé pour les accès d'énergie en raison du niveau normal des transitoires observées sur les circuits d'énergie.					
NOTE 2 Les concepts de protection (à l'intérieur des bâtiments) constituent une combinaison des effets probables des coups de foudre et des concepts de protection donnés dans la CEI 61000-2-11.					
^a Pour les bâtiments à lignes enterrées. Pour le transport d'énergie à basse tension avec protection contre la foudre et lignes de télécommunication avec protection par tube à gaz, réduire le niveau à 8 kV.					

A.2.2 Niveaux d'essai d'immunité aux perturbations intermédiaires

La protection normalisée contre la foudre assure une protection appropriée contre les perturbations IEMN-HA conduites intermédiaires. Pour les concepts de protection contre les perturbations IEMN-HA avec lesquels la protection contre la foudre n'est pas utilisée, il faut tenir compte de ces transitoires. Conformément à la CEI 61000-2-11, la tension de crête des perturbations conduites est de 160 kV et la forme d'onde transitoire est approximativement une onde de 25/1 500 µs. Les tensions de choc de commutation, qui ont des formes d'ondes similaires à l'onde de 25/1 500 µs ont un niveau d'amorçage approximativement égal à 80 % du niveau d'amorçage d'une impulsion 1,2/50 µs. Ainsi, les transitoires aux sorties électriques seront d'environ 4,8 kV (80 % de 6 kV). On choisit 4 kV comme niveau nominal. La forme d'onde sera modifiée par l'amorçage, causant à la fois une réduction du temps de montée et du temps de descente. La forme d'onde de 10/700 µs est choisie pour représenter la contrainte sur les appareils dans les bâtiments sans protection contre la foudre en courant alternatif. Pour les lignes de télécommunication, des dispositifs de protection à tube à gaz devraient fournir une protection appropriée.

A.2.3 Niveaux d'essai d'immunité aux perturbations finales

La perturbation IEMN-HA conduite finale est caractérisée comme un courant quasi continu, unidirectionnel avec une forme de 1/50 s. Cette perturbation ne se produira que sur les lignes conductrices de grande longueur qui sont connectées à la terre aux deux extrémités. Pour les lignes d'énergie, une telle mise à la terre est réalisée par les enroulements de transformateurs triphasés en étoile ou par des transformateurs monophasés. Les effets directs de cette perturbation IEMN-HA finale n'affecteront généralement pas les appareils connectés aux circuits d'énergie à basse tension, dans la mesure où le courant quasi continu passant à travers le transformateur d'un circuit de primaire vers une sortie secondaire à basse tension sera approximativement égal à zéro. Beaucoup de réseaux, comme ceux des principaux pays d'Europe, utilisent des transformateurs triphasés à enroulement en triangle pour distribuer le courant électrique aux charges monophasées et triphasées. Ces circuits ne fournissent pas de connexion de terre aux deux extrémités du circuit primaire. Pour les réseaux qui utilisent des transformateurs monophasés et à enroulement en étoile, le courant quasi continu à la sortie basse tension sera faible (de l'ordre de quelques milliampères). C'est la raison pour laquelle les essais quasi continus pour les accès à courant alternatif des appareils à basse tension ne sont pas prescrits. Cependant, il convient de tenir compte des effets indirects des perturbations IEMN-HA finales à la sortie basse tension pour les prescriptions d'immunité aux perturbations IEMN-HA. Ces effets indirects provoquent la production d'harmoniques de la fréquence industrielle et des oscillations de tension. Une expérience avec un transformateur de distribution saturé de 75 kVA a donné des harmoniques en fréquence industrielle d'environ 5 % à 8 % de la tension fondamentale pour les premières harmoniques [4].

Pour les appareils directement connectés aux circuits de distribution primaires MT et de transmission HT ainsi qu'aux circuits de télécommunication, il convient de tenir compte de la perturbation de courant quasi continu. Le niveau maximal de courant quasi continu I (en ampères) est donné par $I = (L \times 40 \text{ V/km})/R$, où R est la résistance totale de circuit et L est la longueur de ligne, en kilomètres. Des valeurs approchées pour le courant de court-circuit et la tension de circuit ouvert sont déterminées dans la CEI 61000-2-11. Un courant final de circuit de transport primaire type est 12 A. Ceci concerne un circuit comprenant un transformateur de sous-station de 10 MVA avec une résistance d'enroulement de 0,01 Ω , une résistance de mise à la terre de sous-station de 0,5 Ω , une ligne de 10 km avec une résistance de 2,5 Ω , un transformateur de distribution de 25 kVA avec une résistance d'enroulement primaire de 10 Ω et une résistance de mise à la terre de 20 Ω au niveau du transformateur de distribution. Si le transformateur est l'objet en essai, alors la tension en circuit ouvert est de 400 V et le courant de court-circuit est de 23 A.

Pour un système de transmission type avec des résistances de 0,02 Ω /km pour chaque phase, une résistance d'enroulement de 0,15 Ω pour deux transformateurs en série et 0,25 Ω pour chaque terre de sous-station, la tension en circuit ouvert pour une ligne de 100 km est de 4 000 V et le courant de court-circuit de 4 000V/2,8 Ω ou 1 429 A. Le courant de court-circuit à l'un des transformateurs est de 4 000V/2,65 Ω ou 1 509 A. Les valeurs des exemples ci-dessus et de la CEI 61000-4-11 ont été utilisés pour développer les niveaux d'essai du tableau 4.

A.3 Documents de référence

- [1] Miller D. B., *Experimental Investigation of Steep-Front Short Duration (SFSD) Surge Effects on Power Systems Components*, ORNL-/Sub/87-91345, Lockheed Martin Energy Research Corporation, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, Mai 1992.
- [2] CEI 61643-12, *Dispositifs contre les surtensions connectés aux réseaux de distribution basse tension – Partie 12: Principes de choix et d'utilisation*⁴

⁴ A publier.

- [3] Martzloff F. D. and Wilson P. F., *Fast transient tests – trivial or terminal pursuit*, Proceedings, EMC Zurich Symposium, 1987.
- [4] McConnell B. W., et. al., *Impacts of Quasi-dc Currents on Three-Phase Distribution Transformer Installations*, ORNL/Sub/89-SE912/1, Lockheed Martin Energy Research Corporation, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, Juin 1992.
- [5] Barnes P. R. and Hudson T. L., *Steep-Front Short-Duration Voltage Surge Tests of Power Line Filters and Transient Voltage Suppressors*, IEEE Transactions on Power Delivery, Vol. 4, N° 2, Avril 1989.
- [6] Barnes P. R., et. al., *Electromagnetic Pulse Research on Electric Power Systems – Program Summary and Recommendations*, ORNL-6708, Lockheed Martin Energy Research Corporation, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, Janvier 1993.

Annexe B (informative)

Essais d'immunité aux perturbations conduites applicables aux antennes

Le cas approximativement le plus défavorable de réponse crête d'un monopôle électrique vertical à une forme d'onde IEMN-HA initiale donnée est examiné ci-dessous. Les formes d'ondes pour les environnements à perturbations conduites aux accès d'antenne sont des sinusoïdales amorties avec une fréquence approximativement égale à la fréquence centrale désignée f_c de l'antenne.

Une forme simple de réponse du courant de charge de l'antenne à une onde sinusoïdale amortie, pour une antenne dipôle (ou monopôle) est donnée par l'équation (3) de la CEI 61000-2-10, ci-dessous:

$$I_L = kI_{\text{crête}} e^{-\eta t} \sin(2\pi f_c t) \quad (3)$$

où

k est un facteur normalisé,

η est fonction de f_c et du coefficient d'amortissement Q de l'antenne.

La forme d'onde décroît pour atteindre presque zéro après quatre cycles à travers une charge d'antenne de 50Ω . Si on utilise une antenne à grand gain, il convient de multiplier les valeurs de crête par le gain approprié de l'antenne évalué à la fréquence centrale désignée de l'antenne f_c . L'impédance de source pour un simulateur de perturbation conduite d'antenne est de 50Ω .

La réponse en tension en circuit ouvert V_a est approximativement donnée par

$$V_a = kV_{\text{crête}} e^{-\eta t} \sin(\omega t) \quad (4)$$

où $V_{\text{crête}} = kI_{\text{crête}}$,

$\omega = 2\pi f_c$ et

η est approximativement égal à $0,5 f_c$.

$V_{\text{crête}}$ peut être estimée en se basant sur le tableau 4 de la CEI 61000-2-10. Un angle de site de 30 % et une sévérité de 90 % sont généralement considérés comme constituant un cas raisonnablement sévère.

Si l'on applique le tableau 4, $V_{\text{crête}}$ est donné, approximativement, en kilovolts, pour les antennes VHF et UHF par

$$V_{\text{crête}} = 1\,800 / f_c \quad (5)$$

où

f_c est en mégahertz

La valeur de k dans l'équation (4) est

$$k = 10^{(G-g)/10} \quad (6)$$

où

G est le gain de l'antenne par rapport à un doublet demi-onde, en décibels,

g est égal à 3 dB pour tenir compte de la valeur du monopôle quart d'onde utilisé ci-dessus.

Si le gain d'antenne est référencé à une antenne isotrope, alors il est recommandé d'utiliser une valeur de 5 dB pour g .

Les valeurs approchées de $V_{\text{crête}}$ pour les bandes de communications choisies sont données ci-dessous:

En VHF bande inférieure (30 MHz): $V_{\text{crête}} = 60 \text{ kV}$

En VHF bande inférieure (50 MHz): $V_{\text{crête}} = 36 \text{ kV}$

En VHF bande supérieure (150 MHz): $V_{\text{crête}} = 12 \text{ kV}$

En bande UHF (220 MHz): $V_{\text{crête}} = 8 \text{ kV}$

En bande supérieure UHF (450 MHz): $V_{\text{crête}} = 4 \text{ kV}$

Pour les antennes avec une protection nominale contre la foudre ayant une tension de claquage continue d'environ 1 500 V, utiliser $V_{\text{crête}} \geq 4 \text{ kV}$.

Annexe C (informative)

Essais d'immunité aux perturbations conduites

Les générateurs, configurations et procédures d'essai pour les essais d'immunité aux perturbations conduites sont les mêmes que ceux prescrits par les normes de base citées en référence au tableau 6. Les niveaux EC10, EC11 et LC1 – LC4 font référence à cette norme et les spécifications pour les générateurs d'essai sont présentées en 6.2.1.1, 6.2.1.2 et 6.2.1.3. Cette annexe décrit ces niveaux d'essai.

C.1 EC10 et EC11

Un schéma fonctionnel général pour le montage d'essai des niveaux EC10 et EC11 est donné à la figure C.1. La hauteur du support isolant pour l'appareil en essai doit être de $0,1 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ au-dessus du plan de sol. Dans le cas d'appareils ou de systèmes de table, l'appareil en essai doit être placé à une hauteur de $0,8 \text{ m} \pm 0,08 \text{ m}$ au-dessus du plan de sol. On doit installer une connexion de terre entre le plan de sol et l'appareil en essai conformément à la spécification du constructeur. La distance minimale entre l'appareil en essai et d'autres surfaces conductrices est de $0,5 \text{ m}$. Le montage d'essai, les prescriptions d'instrumentation et la procédure d'essai pour ces niveaux sont similaires à ceux de la CEI 61000-4-4.

Un schéma de circuit simplifié et un générateur d'impulsion, ainsi que la forme d'onde d'impulsion pour le niveau de sévérité EC10 sont représentés, respectivement, aux figures C.2 et C.3. Pour les détails concernant les éléments de circuit à la figure C.2, se reporter à la CEI 61000-4-4. Les valeurs de ces éléments devront être modifiées de manière appropriée pour obtenir la forme d'onde de la figure C.3. Un exemple de schéma de circuit pour un générateur EC11 est donné à la figure C.4. La forme d'onde pour EC11 est donnée à la figure C.5. Pour les informations sur les éléments du circuit de la figure C.4, voir [1]⁵.

C.2 Niveaux de sévérité LC

Le générateur d'essai pour l'immunité aux perturbations conduites finales et la forme d'onde d'impulsion sont représentés, respectivement, aux figures C.6 et C.7. Pour les niveaux LC1 et LC2, un générateur peut être conçu avec un condensateur chargé à un niveau de tension continue puis déchargé dans l'appareil en essai avec les circuits de couplage et de découplage appropriés. Pour LC3 et LC4, une source continue peut être utilisée comme générateur d'impulsions lentes. Pour les circuits sous tension, des réseaux de couplage et de découplage seront nécessaires pour empêcher tout endommagement du générateur d'impulsions lentes de courant alternatif ou continu ainsi que pour empêcher les impulsions lentes de se propager dans la source d'énergie.

C.3 Documents de référence

- [1] Ramus A., *Design Concepts for a Pulse Power Test Facility to Simulated EMP Surges in Overhead Power Lines – Part I Fast Pulse*, ORNL/Sub/84-89642/1, Lockheed Martin Energy Research Corporation, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, Février 1986.

⁵ Les chiffres entre crochets renvoient à l'article C.3.

- [2] Dethlefsen R., *Design Concepts for a Pulse Power Test Facility to Simulated EMP Surges in Overhead Power Lines – Part II Slow Pulse*, ORNL/Sub/84-89642/2, Lockheed Martin Energy Research Corporation, Oak Ridge National Laboratory, Oak Ridge, TN 37831, Octobre 1985.⁶

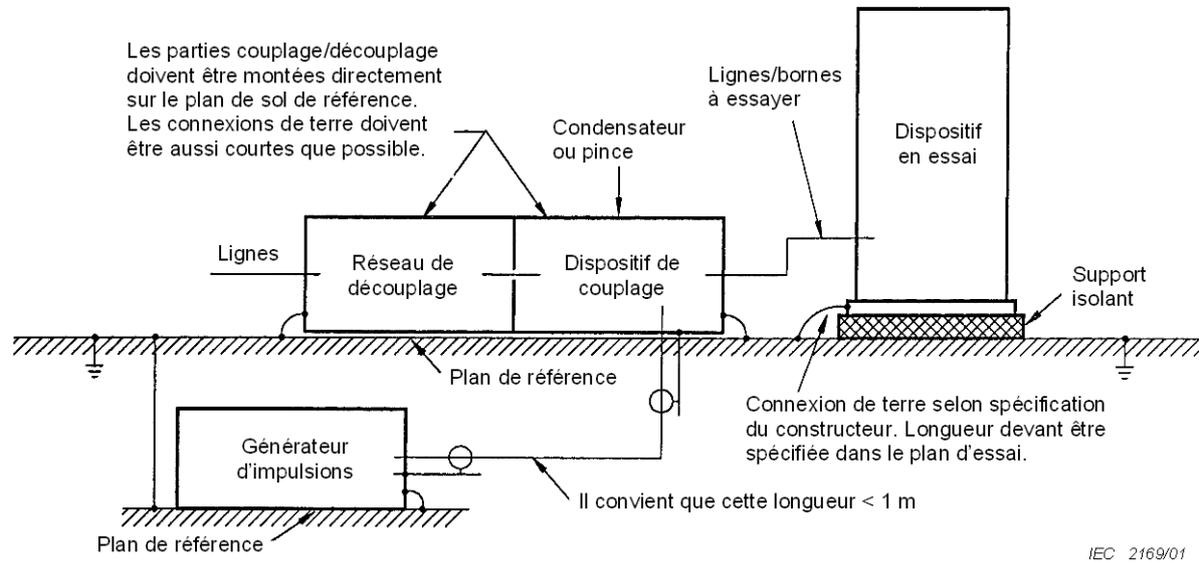
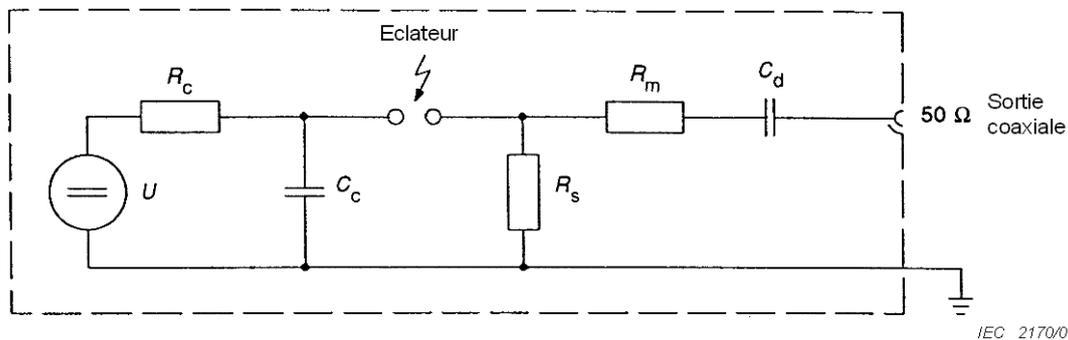


Figure C.1 – Schéma fonctionnel pour les essais d'immunité EC10 et EC11



Légende:

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

Figure C.2 – Exemple de schéma de circuit simplifié d'un générateur de transitoires rapides/salves

⁶ Les documents référencés ci-dessus sont disponibles auprès de: National Technical Information Service, U.S. Department of Commerce, 5285 Port Royal Road, Springfield, Virginia 22161.

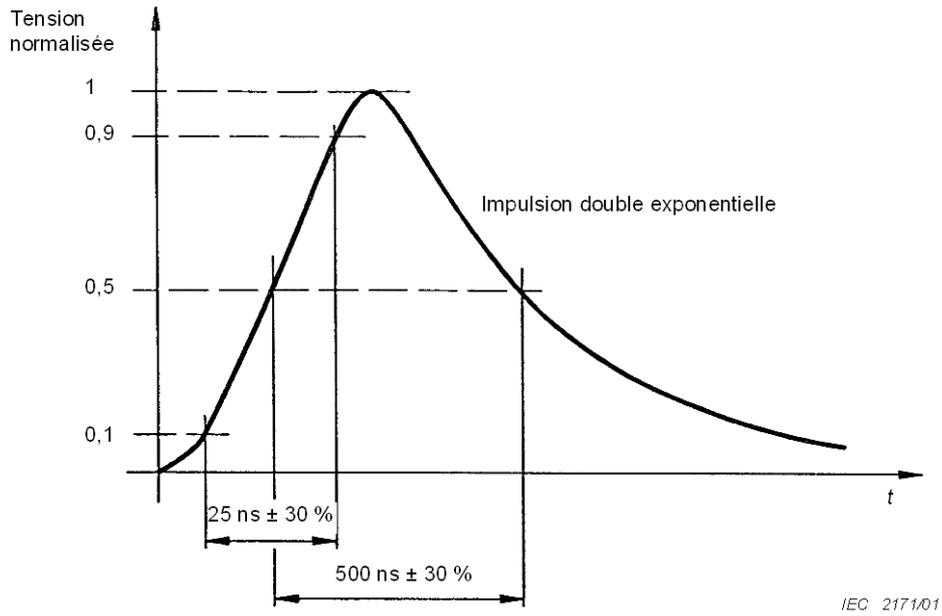


Figure C.3 – Forme d’onde d’une impulsion EC10 sur une charge de 50 Ω

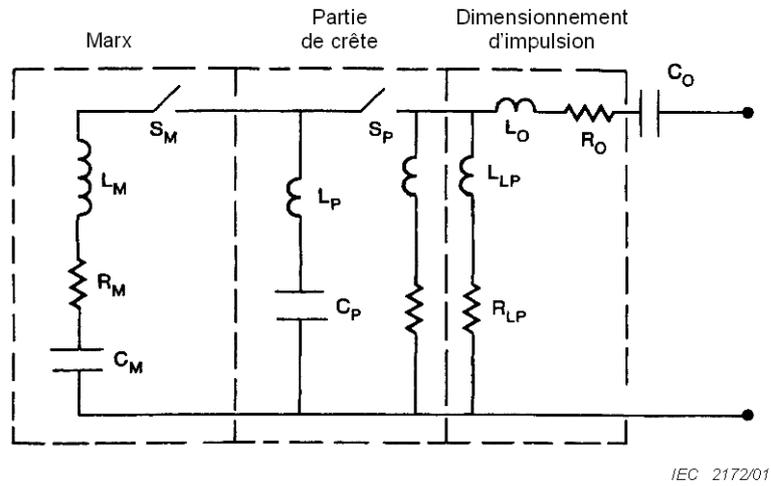


Figure C.4 – Exemple de générateur EC11 (voir article C.1 pour les détails)

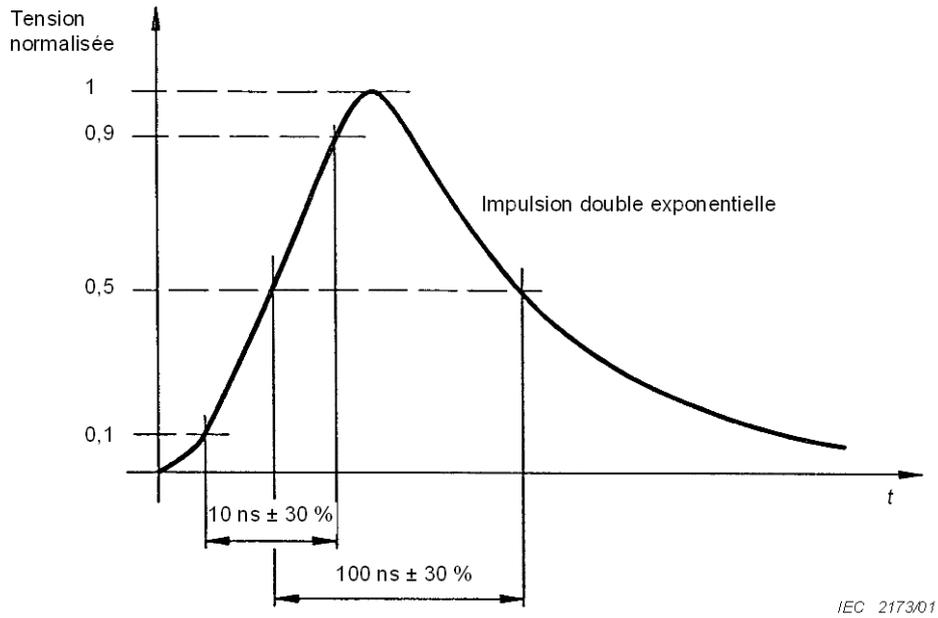


Figure C.5 – Forme d’onde d’une impulsion EC11 sur une charge de 50 Ω

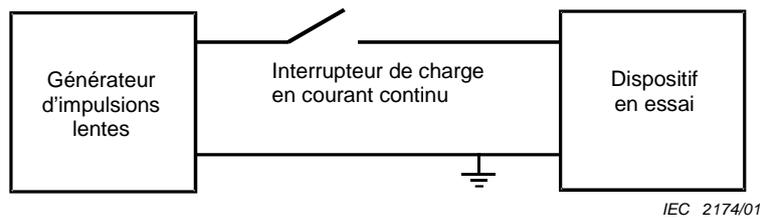


Figure C.6 – Schéma fonctionnel simplifié pour les niveaux de sévérité LC

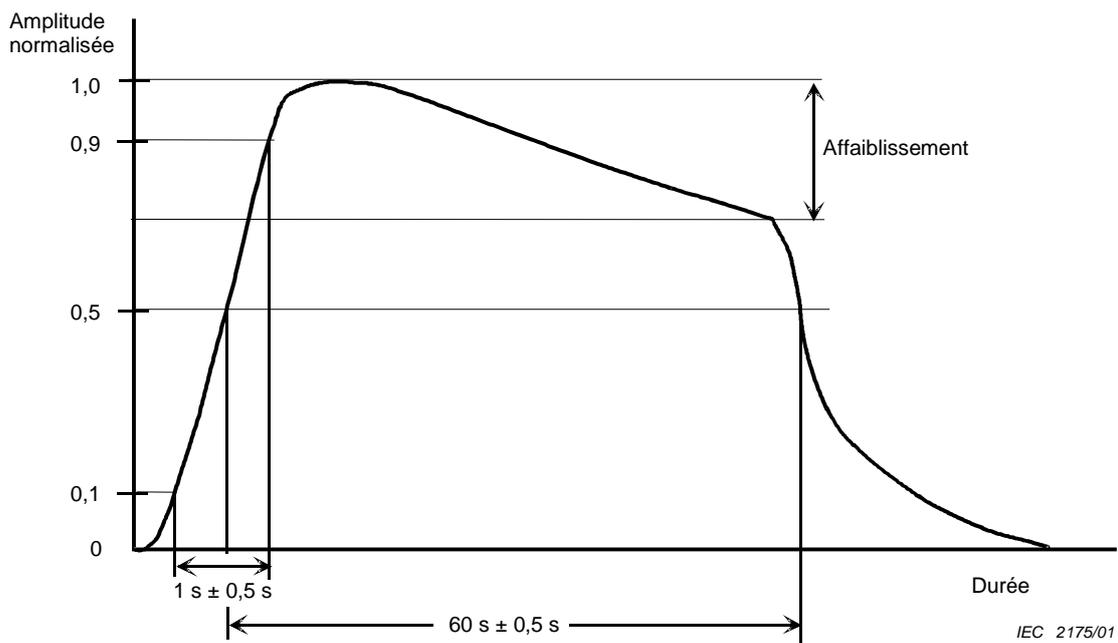


Figure C.7 – Forme d’onde d’impulsion lente LC

Annexe D (normative informative)

Essai d'onde oscillatoire amortie

La norme CEI 61000-2-11 définit une onde oscillatoire amortie de 10 MHz comme perturbation conduite de faible niveau. La réponse réelles du système donneront lieu à des fréquences inférieures et supérieures à 10 MHz, comprises entre environ 1 MHz et 100 MHz, avec vraisemblablement une prédominance des valeurs comprises entre 1 MHz et 10 MHz dans beaucoup de systèmes. ~~Cette annexe décrit une modification de l'essai de l'ISO pour satisfaire aux prescriptions des essais d'immunité aux IEMN-HA. Une norme allemande et une norme US/OTAN sont également présentées comme alternatives à l'essai ISO.~~ La présente norme utilise la CEI 61000-4-18 pour l'essai à l'onde oscillatoire amortie. Cette annexe décrit d'autres essais d'injection d'impulsion ayant été utilisés pour les essais d'immunité aux perturbations IEMN-HA. Un essai ISO ainsi qu'une norme allemande et une norme US/OTAN sont présentés ci-dessous à titre d'information.

D.1 ISO 7137

La procédure d'essai de la norme ISO 7137 pour ~~l'essai à l'~~ une onde oscillatoire amortie correspond à la ~~méthode~~ ~~procédure~~ d'essai 3.8 ~~utilisée~~ pour la susceptibilité aux transitoires induits ~~de par la~~ foudre. Le document ISO cite un document commun EUROCAE et RTCA pour cet essai. L'onde oscillatoire amortie est la forme d'onde 3 et la méthode d'essai est décrite au 22.5.2.1 de la Section 22 de EUROCAE/ED-14C et RTCA/DO-160C, modifiés conformément à la révision No. 2 (1992-06-19). Les procédures d'essai sont décrites à la fois pour les essais de faisceaux de câbles blindés et non blindés. ~~Voir la référence [1] à l'Article D.4 où figure une description de cet essai.~~

Tableau D.1 – Procédure d'essai numéro 3.8 de l'ISO 7137

Niveau d'essai	V_{oc} V	I_{sc} A	Fréquences de formes d'ondes (numéro de forme d'onde 3) MHz	Gamme approximative pour Q^a	Niveau de sévérité dans la norme de base ^b
EC1	100	1	1 et 10	6-33	Pas applicable
EC2	250	2,5	1 et 10	6-33	Pas applicable
EC3	500	5	1 et 10	6-33	Pas applicable
EC4	1 000	10	1 et 10	6-33	Pas applicable
EC5	2 000	20	1 et 10	6-33	Pas applicable
EC6	4 000	40	1 et 10	6-33	Pas applicable

^a Ajuster Q pour faire varier entre 5-20.

^b Ajuster la tension en circuit ouvert et le courant de court-circuit du générateur aux valeurs données au tableau D.1.

Deux essais au choix sont donnés aux articles D.2 et D.3.

D.2 VG 96-903, Partie 70

La norme allemande VG donne une méthode pour les essais d'injection.

La méthode d'essai et le générateur d'injection sont décrits ~~à l'article D.4,~~ dans les références [1] ~~and~~ [2] et [3] figurant à l'Article D.4.

Tableau D.2 – Essai d'injection de courant VG

Niveau d'essai	V_{oc}^a V	I_{sc}^a A	Fréquences de formes d'ondes MHz	Gamme approximative pour Q	Classe de valeur limite dans la norme VG
EC1	100	1	10, 30 et 70	15	3
EC2 ^b	250	2,5	10, 30 et 70	15	Pas disponible
EC3 ^b	500	5	10, 30 et 70	15	Pas disponible
EC4	1 000	10	10, 30 et 70	15	2
EC5 ^b	2 000	20	10, 30 et 70	15	Pas disponible
EC6 ^b	4 000	40	10, 30 et 70	15	Pas disponible
^a Les amplitudes pour 30 MHz et 70 MHz sont de 35 %, respectivement de 15 % de celles qui sont données pour 10 MHz. ^b Ajuster la tension en circuit ouvert et le courant de court-circuit du générateur aux valeurs représentées au tableau D.2.					
NOTE Pour des blindages de câbles à très faible impédance, utiliser le courant de court-circuit.					

D.3 MIL-STD-461-E, Susceptibilité conduite (CS116)

Cet essai donne l'injection de courant sans prendre en compte la tension nécessaire. Pour utiliser cette norme, il convient que le courant injecté soit égal à la moitié du courant de court-circuit indiqué dans le tableau, en considérant que l'impédance du générateur est ajustée pour être égale à celle de la charge. Cette norme est décrite ~~en [3]~~ dans la référence [4] de l'Article D.4.

Tableau D.3 – MIL-STD-461-E

Niveau d'essai	V_{oc} V	I_{sc} A	Fréquences de formes d'ondes MHz	Gamme approximative pour Q	Niveau de courant dans la norme MIL-STD-461-E A
EC1	100	1	1, 10 et 30	15 ± 5	0,5
EC2	250	2,5	1, 10 et 30	15 ± 5	1,25
EC3	500	5	1, 10 et 30	15 ± 5	2,5
EC4	1 000	10	1, 10 et 30	15 ± 5	5
EC5	2 000	20	1, 10 et 30	15 ± 5	10
EC6	4 000	40	1, 10 et 30	15 ± 5	20
NOTE Pour des blindages de câbles à très faible impédance, utiliser le courant de court-circuit.					

D.4 Documents de référence

- [1] ISO 7137:1995, *Aéronefs – Conditions d'environnement et procédures d'essai pour les équipements embarqués*
 - [4 2] VG 96-903, Part 78, *Nuclear electromagnetic pulse (HEMP) and lightning protection: Test Methods, test equipment and limiting values – Test method LF 78, direct injection of HEMP interference into cables and cable harnesses of general purpose equipment*, Novembre, 1988.
 - [2 3] VG 96-903, Part 70, *Nuclear electromagnetic pulse (HEMP) and lightning protection: Test Methods, test equipment and limiting values – Test method LF 70, direct injection of HEMP interference into terminals*, Novembre, 1988.
 - [3 4] MIL-STD-461E, *Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment, Section 5.14, CS116, Conducted susceptibility, damped sinusoidal transients, cables and power leads, 10 kHz to 100 MHz*, 20 Août 1999.
-

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