

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC EMC PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Electromagnetic compatibility (EMC) –
Part 4-9: Testing and measurement techniques – Impulse magnetic field
immunity test**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-9: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité au champ
magnétique impulsionnel**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2016 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

About the IEC

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

About IEC publications

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

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

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

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 15 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

65 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

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

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

A propos de l'IEC

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

A propos des publications IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

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

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

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

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 15 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

65 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC EMC PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Electromagnetic compatibility (EMC) –
Part 4-9: Testing and measurement techniques – Impulse magnetic field
immunity test**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-9: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité au champ
magnétique impulsionnel**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.100.20

ISBN 978-2-8322-3502-7

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

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope and object.....	8
2 Normative references.....	8
3 Terms, definitions and abbreviated terms	9
3.1 Terms and definitions	9
3.2 Abbreviated terms	10
4 General	11
5 Test levels.....	11
6 Test instrumentation	12
6.1 General.....	12
6.2 Combination wave generator	12
6.2.1 General	12
6.2.2 Performance characteristics of the generator	13
6.2.3 Calibration of the generator	13
6.3 Induction coil.....	14
6.3.1 Field distribution	14
6.3.2 Characteristics of the standard induction coils of 1 m × 1 m and 1 m × 2,6 m	14
6.4 Calibration of the test system	14
7 Test setup	15
7.1 Test equipment	15
7.2 Verification of the test instrumentation	16
7.3 Test setup for impulse magnetic field applied to a table-top EUT	16
7.4 Test setup for impulse magnetic field applied to a floor standing EUT	17
7.5 Test setup for impulse magnetic field applied in-situ	18
8 Test procedure	19
8.1 General.....	19
8.2 Laboratory reference conditions	19
8.2.1 Climatic conditions	19
8.2.2 Electromagnetic conditions.....	19
8.3 Execution of the test	19
9 Evaluation of test results.....	20
10 Test report.....	20
Annex A (informative) Characteristics of non standard induction coils	22
A.1 General.....	22
A.2 Determination of the coil factor	22
A.2.1 General	22
A.2.2 Coil factor measurement	22
A.2.3 Coil factor calculation.....	23
A.3 Magnetic field measurement.....	23
A.4 Verification of non standard induction coils	24
Annex B (informative) Information on the field distribution of standard induction coils	25
B.1 General.....	25
B.2 1 m × 1 m induction coil.....	25

B.3	1 m × 2,6 m induction coil with reference ground plane	26
B.4	1 m × 2,6 m induction coil without reference ground plane.....	28
Annex C (informative)	Selection of the test levels	29
Annex D (informative)	Measurement uncertainty (MU) considerations	31
D.1	General.....	31
D.2	Legend	31
D.3	Uncertainty contributors to the surge current and to the surge magnetic field measurement uncertainty	32
D.4	Uncertainty of surge current and surge magnetic field calibration	32
D.4.1	General	32
D.4.2	Front time of the surge current	32
D.4.3	Peak of the surge current and magnetic field	34
D.4.4	Duration of the current impulse.....	35
D.4.5	Further MU contributions to time measurements	36
D.4.6	Rise time distortion due to the limited bandwidth of the measuring system.....	36
D.4.7	Impulse peak and width distortion due to the limited bandwidth of the measuring system	37
D.5	Application of uncertainties in the surge generator compliance criterion	38
Annex E (informative)	Mathematical modelling of surge current waveforms	39
E.1	General.....	39
E.2	Normalized time domain current surge (8/20 μ s)	39
Annex F (informative)	Characteristics using two standard induction coils.....	42
F.1	General.....	42
F.2	Particular requirements for calibration	42
F.3	Field distribution of the double induction coil arrangement	43
Annex G (informative)	3D numerical simulations	45
G.1	General.....	45
G.2	Simulations	45
G.3	Comments	45
Bibliography		53
Figure 1	– Simplified circuit diagram of the combination wave generator	12
Figure 2	– Waveform of short-circuit current (8/20 μ s) at the output of the generator with the 18 μ F capacitor in series	13
Figure 3	– Example of a current measurement of standard induction coils	14
Figure 4	– Example of test setup for table-top equipment showing the vertical orthogonal plane.....	17
Figure 5	– Example of test setup for floor standing equipment showing the horizontal orthogonal plane.....	17
Figure 6	– Example of test setup for floor standing equipment showing the vertical orthogonal plane.....	18
Figure 7	– Example of test setup using the proximity method	18
Figure A.1	– Rectangular induction coil with sides $a + b$ and c	23
Figure A.2	– Example of verification setup for non standard induction coils	24
Figure B.1	– +3 dB isoline for the magnetic field strength (magnitude) in the x - y plane for the 1 m × 1 m induction coil	25

Figure B.2 – +3 dB and –3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) in the x - z plane for the 1 m × 1 m induction coil	26
Figure B.3 – +3 dB isoline for the magnetic field strength (magnitude) in the x - z plane for the 1 m × 2,6 m induction coil with reference ground plane	27
Figure B.4 – +3 dB and –3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) in the x - y plane for the 1 m × 2,6 m induction coil with reference ground plane.....	27
Figure B.5 – +3 dB isoline for the magnetic field strength (magnitude) in the x - y plane for the 1 m × 2,6 m induction coil without reference ground plane	28
Figure B.6 – +3 dB and –3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) in the x - z plane for the 1 m × 2,6 m induction coil without reference ground plane	28
Figure E.1 – Normalized current surge (8/20 μ s): Width time response T_W	40
Figure E.2 – Normalized current surge (8/20 μ s): Rise time response T_r	40
Figure E.3 – Current surge (8/20 μ s): Spectral response with $\Delta f = 10$ kHz	41
Figure F.1 – Example of a test system using double standard induction coils	42
Figure F.2 – +3dB isoline for the magnetic field strength (magnitude) in the x - y plane for the double induction coil arrangement (0,8 m spaced)	44
Figure F.3 – +3 dB and –3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) in the x - z plane for the double induction coil arrangement (0,8 m spaced)	44
Figure G.1 – Current and H-field in the centre of the 1 m × 1 m induction coil.....	46
Figure G.2 – H_x -field along the side of 1 m × 1 m induction coil in A/m.....	46
Figure G.3 – H_x -field in direction x perpendicular to the plane of the 1 m × 1 m induction coil	47
Figure G.4 – H_x -field along the side in dB for the 1 m × 1 m induction coil.....	47
Figure G.5 – H_x -field along the diagonal in dB for the 1 m × 1 m induction coil	48
Figure G.6 – H_x -field plot on y - z plane for the 1 m × 1 m induction coil	48
Figure G.7 – H_x -field plot on x - y plane for the 1 m × 1 m induction coil	49
Figure G.8 – H_x -field along the vertical middle line in dB for the 1 m × 2,6 m induction coil...	49
Figure G.9 – H_x -field 2D plot on y - z plane for the 1 m × 2,6 m induction coil	50
Figure G.10 – H_x -field 2D plot on x - y plane at $z = 0,5$ m for the 1 m × 2,6 m induction coil	50
Figure G.11 – Helmholtz setup: H_x -field and 2D plot for two 1 m × 1 m induction coils, 0,6 m spaced	51
Figure G.12 – Helmholtz setup: H_x -field and 2D plot for two 1 m × 1 m induction coils, 0,8 m spaced	52
Table 1 – Test levels.....	11
Table 2 – Definitions of the waveform parameters 8/20 μ s	13
Table 3 – Specifications of the waveform time parameters of the test system	15
Table 4 – Specifications of the waveform peak current of the test system.....	15
Table D.1 – Example of uncertainty budget for surge current front time (T_f).....	33
Table D.2 – Example of uncertainty budget for the peak of surge current (I_P).....	34
Table D.3 – Example of uncertainty budget for current impulse width (T_d)	35
Table D.4 – α factor (see equation (D.10)) of different unidirectional impulse responses corresponding to the same bandwidth of system B	37
Table D.5 – β factor (equation (D.14)) of the standard current surge waveform.....	38
Table F.1 – Specifications of the waveform peak current of this test system	43

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 4-9: Testing and measurement techniques –
Impulse magnetic field immunity test**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61000-4-9 has been prepared by subcommittee 77B: High frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

It forms Part 4-9 of the IEC 61000 series. It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 1993 and Amendment 1:2000. This edition constitutes a technical revision.

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

- a) new Annex B on induction coil field distribution;
- b) new Annex D on measurement uncertainty;
- c) new Annex E on mathematical modeling of surge waveform;

- d) new Annex F on characteristics using two standard induction coils;
- e) new Annex G on 3D numerical simulations;
- f) coil factor calculation and calibration using current measurement have been addressed in this edition.

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

CDV	Report on voting
77B/728/CDV	77B/745A/RVC

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

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

A list of all parts in the IEC 61000 series, published under the general title *Electromagnetic compatibility (EMC)*, can be found on the IEC website.

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

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

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

INTRODUCTION

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

Part 1: General

General considerations (introduction, fundamental principles)

Definitions, terminology

Part 2: Environment

Description of the environment

Classification of the environment

Compatibility levels

Part 3: Limits

Emission limits

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

Part 4: Testing and measurement techniques

Measurement techniques

Testing techniques

Part 5: Installation and mitigation guidelines

Installation guidelines

Mitigation methods and devices

Part 6: Generic standards

Part 9: Miscellaneous

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

This part is an international standard which gives immunity requirements and test procedures related to "pulse magnetic field".

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 4-9: Testing and measurement techniques – Impulse magnetic field immunity test

1 Scope and object

This part of IEC 61000 specifies the immunity requirements, test methods, and range of recommended test levels for equipment subjected to impulse magnetic disturbances mainly encountered in:

- industrial installations,
- power plants,
- railway installations,
- medium voltage and high voltage sub-stations.

The applicability of this standard to equipment installed in different locations is determined by the presence of the phenomenon, as specified in Clause 4.

This standard does not consider disturbances due to capacitive or inductive coupling in cables or other parts of the field installation. Other IEC standards dealing with conducted disturbances cover these aspects.

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

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

This standard defines:

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

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

2 Normative references

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

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

3 Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

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

3.1.1

calibration

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

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

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

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

3.1.2

combination wave generator

CWG

generator with 1,2/50 μs open-circuit voltage waveform and 8/20 μs short-circuit current waveform

Note 1 to entry: This definition is abbreviated from the equivalent definition in IEC 61000-4-5.

Note 2 to entry: This note applies to the French language only.

3.1.3

duration

T_d

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

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

SEE: Figure 2.

3.1.4

front time

T_f

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

SEE: Figure 2.

3.1.5

immunity

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

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

3.1.6

induction coil

conductor loop of defined shape and dimensions, in which a current flows, generating a magnetic field of defined uniformity in a defined volume

3.1.7

induction coil factor

ratio between the magnetic field strength generated by an induction coil of given dimensions and the corresponding current value

Note 1 to entry: The field is that measured at the centre of the coil plane, without the EUT.

3.1.8

proximity method

method of application of the magnetic field to the EUT, where a small induction coil is moved along the side of the EUT in order to detect particularly sensitive areas

3.1.9

reference ground plane

flat conductive surface whose potential is used as a common reference

3.1.10

rise time

T_r

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

SEE: Figure 2.

3.1.11

surge

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

3.1.12

system

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

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

3.1.13

transient, adjective and noun

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

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

3.1.14

verification

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

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

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

3.2 Abbreviated terms

AE	Auxiliary equipment
CDN	Coupling/decoupling network

CWG	Combination wave generator
EFT/B	Electrical fast transient/burst
EMC	Electromagnetic compatibility
ESD	Electrostatic discharge
EUT	Equipment under test
MU	Measurement uncertainty
RGP	Reference ground plane

4 General

The magnetic fields to which equipment is subjected may influence the reliable operation of equipment and systems.

The following tests are intended to demonstrate the immunity of equipment when subjected to impulse magnetic fields related to the specific location and installation condition of the equipment (e.g. proximity of equipment to the disturbance source).

Pulse magnetic fields are generated by lightning strikes on buildings and other metal structures including aerial masts, earth conductors and earth networks and by initial fault transients in low, medium and high voltage electrical systems.

In high voltage sub-stations, an impulse magnetic field may also be generated by the switching of high voltage bus-bars and lines by circuit breakers.

The test is mainly applicable to electronic equipment to be installed in electrical generation and distribution plants as well as in their control centres. It is not relevant for distribution network equipment (e.g. transformers, power lines).

Product committees may consider other applications.

5 Test levels

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

Table 1 – Test levels

Level	Pulse magnetic field strength
	A/m (peak)
1	not applicable
2	not applicable
3	100
4	300
5	1 000
X ^a	special
NOTE The magnetic field strength is expressed in A/m; 1 A/m corresponds to a free space magnetic flux density of 1,26 μ T.	
^a "X" can be any level, above, below or in between the others. The level shall be specified in the dedicated equipment specification.	

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

6 Test instrumentation

6.1 General

The test system comprises the combination wave generator and the induction coil for a table-top test setup and, in addition, an RGP for a floor-standing test setup.

6.2 Combination wave generator

6.2.1 General

For this application, the combination wave generator is used as a current source.

NOTE The combination wave generator specified in this standard has identical wave shape definitions to the ones given in IEC 61000-4-5.

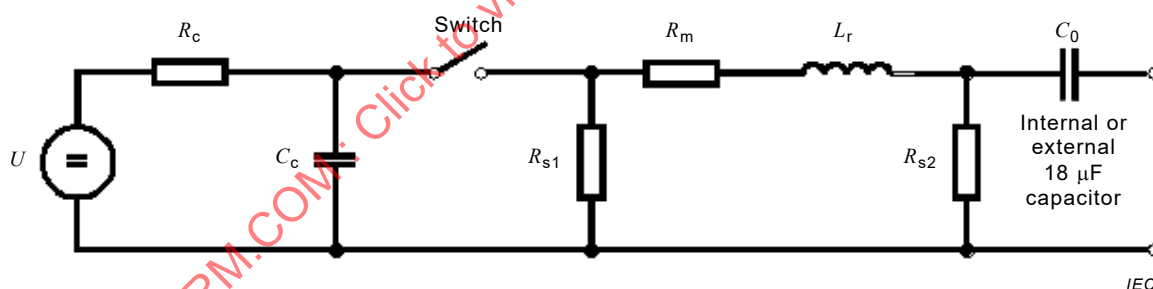
Therefore only the 8/20 μs waveform is relevant. The combination wave generator shall be able to deliver the required impulse current to the induction coils specified in 6.3.

The waveform is specified as a short-circuit current and therefore shall be measured without the induction coil connected.

This generator is intended to generate a surge having:

- a short-circuit current front time of 8 μs ;
- a short-circuit current duration of 20 μs .

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



Key

U	High-voltage source
R_c	Charging resistor
C_c	Energy storage capacitor
R_s	Impulse duration shaping resistors
R_m	Impedance matching resistor
L_r	Rise time shaping inductor
C_o	Internal or external 18 μF capacitor

Figure 1 – Simplified circuit diagram of the combination wave generator

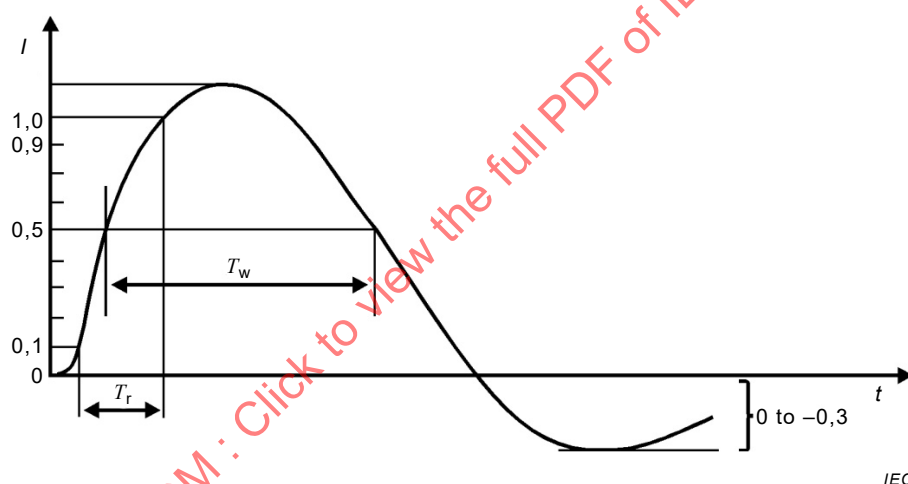
6.2.2 Performance characteristics of the generator

Polarity	positive and negative
Phase shifting	in a range between 0° to 360° relative to the phase angle of the a.c. line voltage to the EUT with a tolerance of $\pm 10^\circ$
Repetition rate	1 per minute or faster
Short-circuit peak output current	100 A to 1 000 A or the required test level divided by the coil factor
Waveform of the surge current	see Table 2 and Figure 2
Short-circuit peak output current tolerance	$\pm 10 \%$

Table 2 – Definitions of the waveform parameters 8/20 μ s

	Front time T_f μ s	Duration T_d μ s
Short-circuit current	$T_f = 1,25 \times T_r = 8 \pm 20 \%$	$T_d = 1,18 \times T_w = 20 \pm 20 \%$

A generator with floating output shall be used.



Front time: $T_f = 1,25 \times T_r = 8 \mu\text{s} \pm 20 \%$

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

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

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

**Figure 2 – Waveform of short-circuit current (8/20 μ s)
at the output of the generator with the 18 μ F capacitor in series**

6.2.3 Calibration of the generator

If a current transformer (probe) is used to measure short-circuit current, it should be selected so that saturation of the magnetic core does not take place. The lower (-3 dB) corner frequency of the probe should be less than 100 Hz. The calibration shall be carried out with a current probe and oscilloscope or other equivalent measurement instrumentation with a bandwidth of not less than 1 MHz. The calibration shall be performed for all test levels, which are applied for testing.

The characteristics of the generator shall be measured through an external capacitor of 18 μF in series with the output, under short-circuit conditions. If the 18 μF capacitor is implemented in the generator, no external 18 μF capacitor is required for calibration.

All performance characteristics stated in 6.2.2, with the exception of phase shifting, shall be met at the output of the generator.

6.3 Induction coil

6.3.1 Field distribution

For the two single-turn standard coils of 1 m $\times$ 1 m and 1 m $\times$ 2,6 m, the field distribution is known and shown in Annex B. Therefore, no field verification or field calibration is necessary; the current measurement as shown in Figure 3 is sufficient.

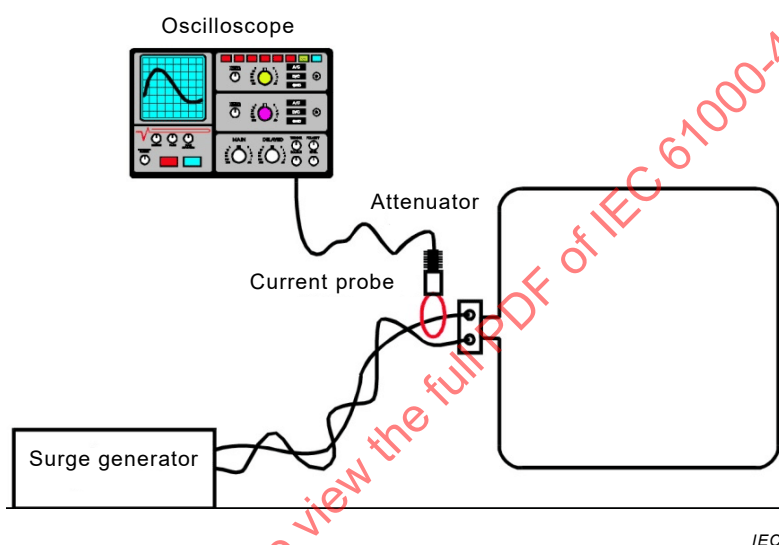


Figure 3 – Example of a current measurement of standard induction coils

Other coils of different dimensions may be used for an EUT which does not fit inside either of the two standard coils. In these cases, the field distribution shall be determined by measurement or calculation (see Annex A).

6.3.2 Characteristics of the standard induction coils of 1 m $\times$ 1 m and 1 m $\times$ 2,6 m

The standard induction coil shall be made of copper, aluminium or any conductive non-magnetic material, of such cross-section and mechanical arrangement as to facilitate its stable positioning during the tests.

The tolerance of the standard coils is ± 1 cm, measured between the centre lines (centre of the cross-section). The characteristics of induction coils with respect to the magnetic field distribution are given in Annex B.

6.4 Calibration of the test system

The essential characteristics of the test system shall be calibrated by a current measurement (see Figure 3).

The output current shall be verified with the generator connected to the standard induction coil specified in 6.2.1 for all applicable test levels. In order to comply with the specifications given in Table 3 and Table 4, an external capacitor (e.g. 18 μF) in series may be required.

The capacitor may be incorporated in the generator. The connection shall be realized by twisted conductors or a coaxial cable of up to 3 m length and of suitable cross-section.

The following specifications given in Table 3 and Table 4 shall be verified.

Table 3 – Specifications of the waveform time parameters of the test system

	Front time T_f	Duration T_d
System using 1 m × 1 m standard induction coil	$T_f = 1,25 \times T_r = 8 \mu\text{s}$ $\begin{smallmatrix} +2,4 \\ -0,8 \end{smallmatrix} \mu\text{s}$	$T_d = 1,18 \times T_w = 20 \mu\text{s}$ $\begin{smallmatrix} +6 \\ -2 \end{smallmatrix} \mu\text{s}$
System using 1 m × 2,6 m standard induction coil	$T_f = 1,25 \times T_r = 8 \mu\text{s}$ $\begin{smallmatrix} +3,2 \\ -0,8 \end{smallmatrix} \mu\text{s}$	$T_d = 1,18 \times T_w = 20 \mu\text{s}$ $\begin{smallmatrix} +8 \\ -2 \end{smallmatrix} \mu\text{s}$

Table 4 – Specifications of the waveform peak current of the test system

Test level	Peak current $I \pm 10 \%$ A	
	System using 1 m × 1 m standard induction coil	System using 1 m × 2,6 m standard induction coil
1	not applicable	not applicable
2	not applicable	not applicable
3	111	152
4	333	453
5	1 111	1 515
X ^a	special/0,9	special/0,66
NOTE The values 0,9 and 0,66 are the calculated coil factors of standard induction coils as described in A.2.3 (see Annex A).		
^a "X" can be any level, above, below or in between the others. The level shall be specified in the dedicated equipment specification.		

If a current transformer (probe) is used to measure short-circuit current it should be selected so that saturation of the magnetic core does not take place. The lower (-3 dB) corner frequency of the probe should be less than 100 Hz. The calibration shall be carried out with a current probe and oscilloscope or other equivalent measurement instrumentation with a bandwidth of not less than 1 MHz.

7 Test setup

7.1 Test equipment

The following equipment is part of the test setup:

- equipment under test (EUT);
- auxiliary equipment (AE) when required;
- cables (of specified type and length);
- combination wave generator (CWG) with an internal/external (e.g. 18 μF) capacitor;
- induction coil;
- reference ground plane in case of testing floor standing equipment.

7.2 Verification of the test instrumentation

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

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

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

- surge impulse present at the induction coil terminals.

It is sufficient to verify that the surge is present at any level by using suitable measuring equipment (e.g. current probe, oscilloscope).

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

7.3 Test setup for impulse magnetic field applied to a table-top EUT

Table-top EUTs shall be placed on a non-conductive table. The 1 m × 1 m induction coil may be used for testing EUTs with dimensions up to 0,6 m × 0,6 m × 0,5 m (L × W × H). The 1 m × 2,6 m induction coil may be used for testing EUTs with dimensions up to 0,6 m × 0,6 m × 2 m (L × W × H).

The induction coil shall be positioned in three orthogonal orientations.

When an EUT does not fit into the induction coil of 1 m × 2,6 m, either the proximity method (see 7.4) can be used or larger induction coils may be constructed to suit the dimensions of the EUT for different field orientation of the magnetic field.

NOTE If it is impractical to construct coils for very large equipment, the proximity method is the only suitable test method.

It is not necessary to maximize the impact of cables during this test. The proximity of the cables to the loop antenna can impact the results so the cables shall be routed to minimize this impact. The minimized cabling dimension shall be incorporated into the determination of the maximum size of EUT that can be tested.

An RGP is not required below the EUT (see Figure 4 below). The induction coil shall be kept at least 0,5 m from any conducting surfaces, for example the walls and floor of a shielded enclosure.

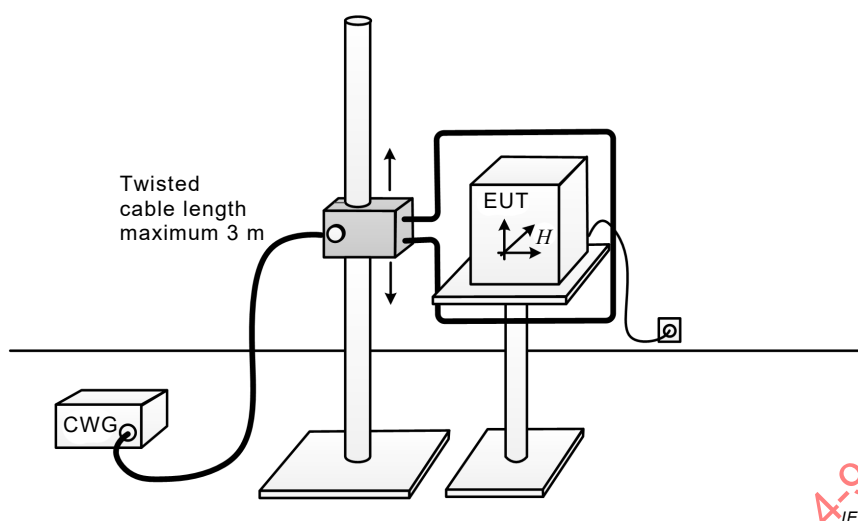


Figure 4 – Example of test setup for table-top equipment showing the vertical orthogonal plane

7.4 Test setup for impulse magnetic field applied to a floor standing EUT

The induction coil of standard dimensions for testing floor standing equipment (e.g. racks) has a rectangular shape of 1 m × 2,6 m with one short side which may be the RGP for large sized equipment. The 1 m × 1 m induction coil can be used for floor standing equipment with the maximum dimensions of 0,6 m × 0,6 m.

The RGP shall have a minimum thickness of 0,65 mm and a minimum size of 1 m × 1 m. The EUT shall be insulated from the RGP.

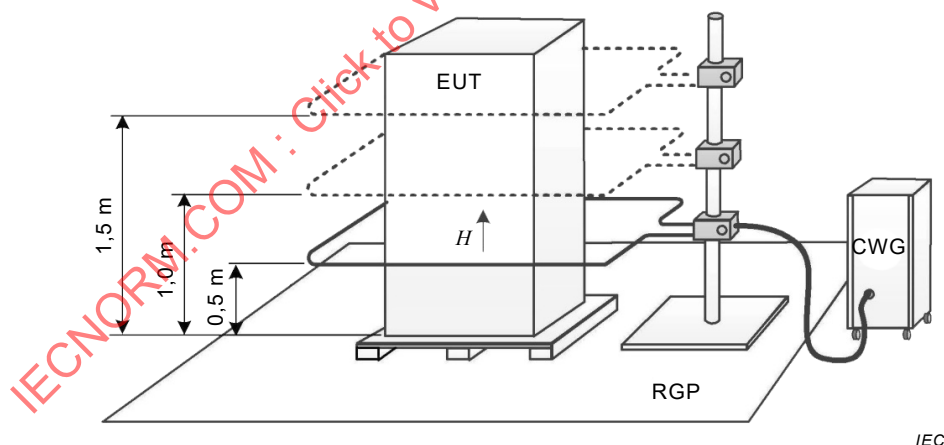


Figure 5 – Example of test setup for floor standing equipment showing the horizontal orthogonal plane

For floor standing equipment (e.g. cabinets) where the top of the EUT is greater than 0,75 m from the RGP, more than one position shall be tested. The distance between the positions shall be $(0,5 \pm 0,05)$ m. Figure 5 indicates that three positions have to be tested. In any case, the induction coil shown in Figure 5 shall not be placed below 0,5 m. Figure 6 shows an example for testing with a vertical orthogonal plane.

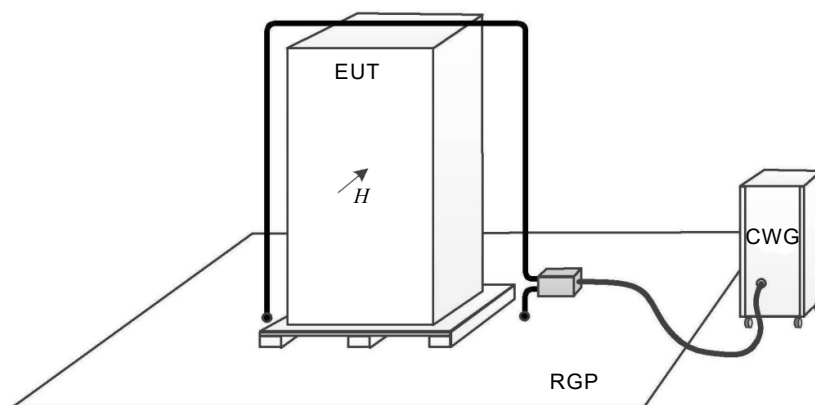


Figure 6 – Example of test setup for floor standing equipment showing the vertical orthogonal plane

The test volume of the rectangular coil is 0,6 m × 0,6 m × 2 m (L × W × H).

When an EUT does not fit into the rectangular coil of 1 m × 2,6 m, either the proximity method (see Figure 7 and 7.5 for more detailed information) can be used or larger induction coils may be constructed to suit the dimensions of the EUT for a different field orientation of the magnetic field (see Annex A).

If it is impractical to construct coils for very large equipment, the proximity method is the only suitable test method. Product committees may select either the proximity method or use a suitable coil.

It is not necessary to maximize the impact of cables during this test. The proximity of the cables to the loop antenna can impact the results so the cables shall be routed to minimize this impact. The minimized cabling dimension shall be incorporated into the determination of the maximum size of EUT that can be tested.

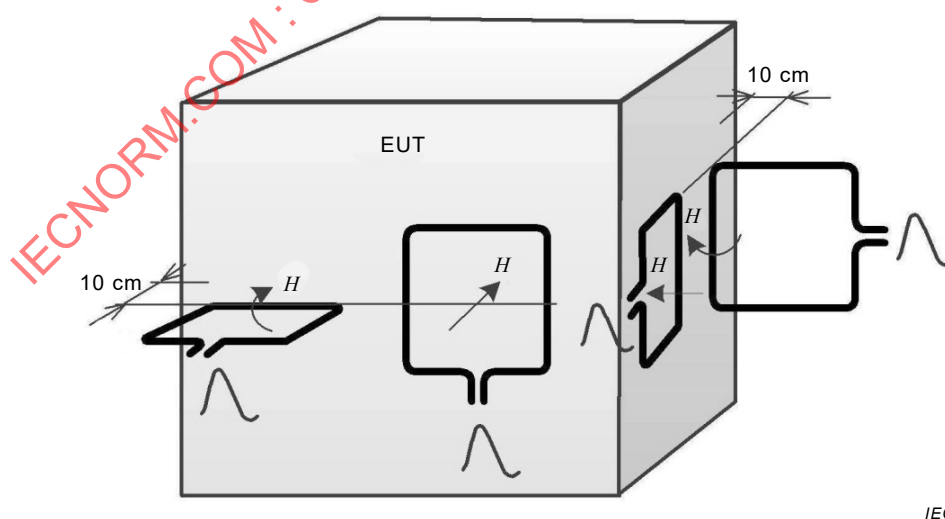


Figure 7 – Example of test setup using the proximity method

7.5 Test setup for impulse magnetic field applied in-situ

In-situ testing is generally the only practical test method available for large machinery or similar equipment. During in-situ testing, an RGP is normally not available. Therefore the

proximity method may be the only practical test method without the RGP in place. Figure 7 gives an example for a test setup for in-situ testing. The 1 m × 1 m standard induction coil shall be used when examining EUTs using the proximity method. Furthermore it is necessary that the standard induction coil is isolated from the EUT. The distance between the standard induction coil and the EUT shall be (10 ± 1) cm.

NOTE The distance has been defined to ensure the same field strength as in the centre of the standard induction coil.

Testing of table top equipment according to 7.3 may also be performed but this is not the preferable test method.

8 Test procedure

8.1 General

The test procedure includes:

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

8.2 Laboratory reference conditions

8.2.1 Climatic conditions

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

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

8.2.2 Electromagnetic conditions

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

8.3 Execution of the test

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

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

- test level;
- number of impulses (for each orthogonal orientation):
number of impulses unless otherwise specified by the relevant standard:
 - for d.c. powered EUT, five positive and five negative impulses;
 - for single-phase a.c. powered EUT, 20 positive and 20 negative impulses without phase synchronization;
 - for three-phase a.c. powered EUT, 20 positive and 20 negative impulses without phase synchronization;

- impulse repetition rate not less than one impulse per minute (product committees may specify this repetition rate);
- representative operating conditions of the EUT;
- three orthogonal orientations of the magnetic field in case of table-top equipment;
- three orientations of the magnetic field in case of floor standing equipment;
- locations of the induction coil relative to the EUT (test points).

For most products, phase synchronization may not be appropriate; therefore product committees should decide on the need of phase synchronization for their products.

NOTE 1 The application of tests with different phase angles may be more critical for equipment with inverter technology.

NOTE 2 Special safety considerations may be needed when using the generator's CDN output.

9 Evaluation of test results

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

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

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

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

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

10 Test report

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

- the items specified in the test plan required by Clause 8 of this standard;
- identification of the EUT and any associated equipment, for example, brand name, product type, serial number;
- identification of the test equipment, for example, brand name, product type, serial number;
- any special environmental conditions in which the test was performed, for example, shielded enclosure;
- any specific conditions necessary to enable the test to be performed;
- performance level defined by the manufacturer, requestor or purchaser;

- performance criterion specified in the generic, product or product-family standard;
- any effects on the EUT observed during or after the application of the test disturbance, and the duration for which these effects persist;
- the rationale for the pass/fail decision (based on the performance criterion specified in the generic, product or product-family standard, or agreed between the manufacturer and the purchaser);
- any specific conditions of use, for example cable length or type, shielding or grounding, or EUT operating conditions, which are required to achieve compliance;
- the induction coils selected for the tests;
- the position and orientation of the induction coil relative to EUT.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-9:2016

Annex A (informative)

Characteristics of non standard induction coils

A.1 General

When an EUT does not fit into standard induction coils, either the proximity method may be used or non standard induction coils may be used. Non standard coils are constructed to accommodate the dimensions of the EUT for the different orientations of the magnetic field.

Note that larger induction coils give repeatable results, but it may not be practical to construct very large coils. The maximum dimensions of non standard induction coils are determined by whether the waveform requirements of the 1 m × 2,6 m coil can be achieved. The proximity method may give useful but not necessarily reproducible results.

NOTE Due to the possible large dimensions of EUTs, the coils can be made of "C" or "T" cross-sectional shape in order to have sufficient mechanical rigidity.

A.2 Determination of the coil factor

A.2.1 General

The induction coil factor shall be determined by measurement or calculation. The coil factor is used to calculate the current in the induction coil to obtain the required magnetic field strength in the centre of the induction coil.

A.2.2 Coil factor measurement

A.2.2.1 General

In order to compare the test results from different coils, the induction coil factor shall be measured in a free space condition without an EUT.

A magnetic field sensor of adequate sensitivity shall be used to measure the magnetic field strength H generated by the induction coil.

The field sensor should be positioned at the centre of the induction coil and with suitable orientation to detect the maximum value of the field. The current I in the induction coil shall be measured and adjusted to obtain a field strength within the measurement range of the magnetic field sensor. The coil factor, k_{CF} , is obtained as $k_{CF} = H/I$.

A.2.2.2 Coil factor measurement for table-top equipment

The following procedure should be carried out:

The induction coil shall be positioned at a minimum of 1 m from conductive or magnetic structures. Insulating material may be used to support the induction coil. The induction coil is connected to an a.c. source. The measurement can be carried out at any frequency (e.g. 50 Hz or 60 Hz).

A.2.2.3 Coil factor measurement for floor standing equipment

The following procedure should be carried out:

The induction coil should be positioned on the RGP, which may form one side of the coil. Except for the RGP, all other conductive or magnetic structures shall be at least 1 m from the

coil. Insulating material may be used to support the induction coil. The induction coil shall be connected to an a.c. source. The measurement shall be carried out at power frequency.

A.2.3 Coil factor calculation

The coil factor can be calculated from the geometrical dimensions of the induction coil. For a single-turn, rectangular induction coil having sides $a + b$ and c (see Figure A.1), the coil factor k_{CF} is given by

$$k_{CF}(P) = \frac{H(P)}{I} = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{4a/c + c/a}{\sqrt{a^2 + (c/2)^2}} + \frac{4b/c + c/b}{\sqrt{b^2 + (c/2)^2}} \right] \quad (\text{A.1})$$

where $H(P)$ is the magnetic field at point P and I is the induction coil current. Equation (A.1) is valid, when the largest dimension of the cross-section of the coil inductor is small compared to the shortest side of the induction coil. For a square induction coil with side c and if P is at the centre of the coil, then $a = b = c/2$. If P is at the centre of a rectangular coil, then $a = b$. If the RGP is the bottom side of the coil, then equation (A.1) is still valid taking into account the image of the actual (physical) coil. In this case, if P is at the centre of the physical coil, then the k_{CF} of the coil formed by the physical coil plus its image is given by equation (A.1) with $b = 3 \times a$.

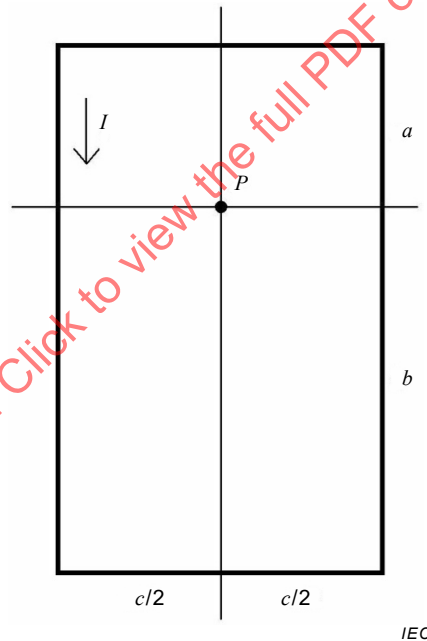


Figure A.1 – Rectangular induction coil with sides $a + b$ and c

A.3 Magnetic field measurement

The field measurement mentioned in A.2.2.1 is also applicable for large non standard induction coils. The measurement of the magnetic field may be done with a measurement system comprising calibrated sensors, for example a "Hall effect" or multi-turn loop sensors with a diameter of at least one order of magnitude smaller than the induction coil and a power frequency narrow band instrument. The maximum EUT volume is limited by the +3 dB isoline in the x - y plane and by the ± 3 dB isolines in the x - z plane.

A.4 Verification of non standard induction coils

The measurement may be carried out by injecting the power frequency current into the induction coil and measuring the magnetic field using sensors placed at the geometrical centre of the coil as shown in Figure A.2.

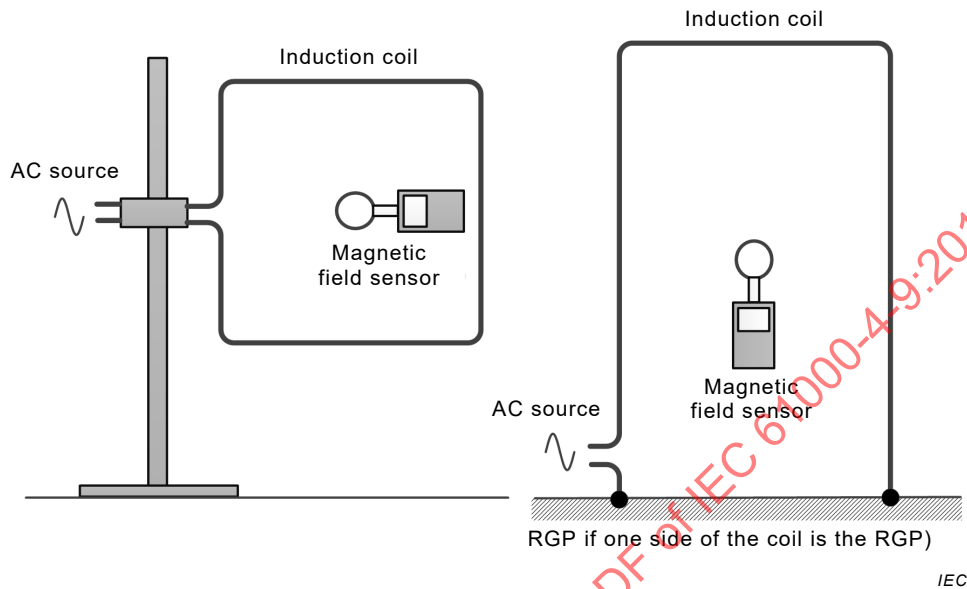


Figure A.2 – Example of verification setup for non standard induction coils

The induction coil factor can be calculated from equation (A.1) if the largest cross-section dimension of the coil inductor is not more than 0,02 of the shortest side of the coil.

If one side of the coil is the RGP, an additional source of uncertainty is the finite size of the RGP. This can be evaluated through the relative deviation between the coil factors calculated assuming the presence and absence of an infinite size RGP.

Annex B (informative)

Information on the field distribution of standard induction coils

B.1 General

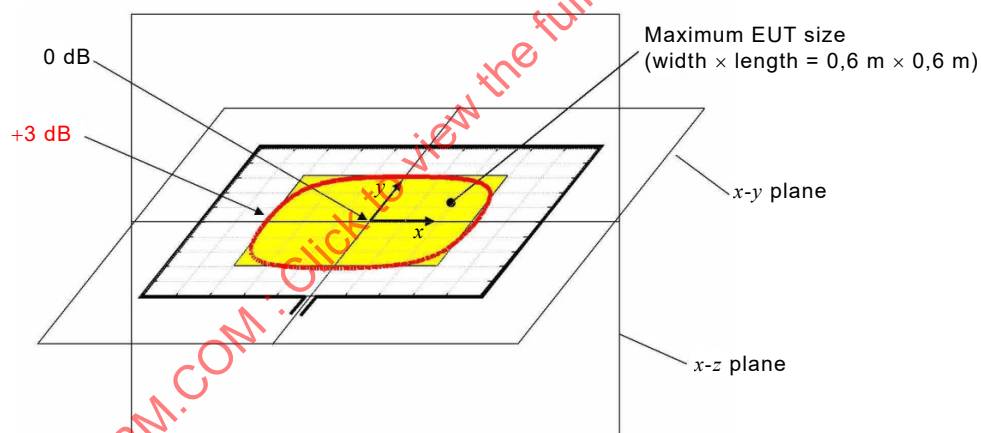
Annex B gives information on the maximum size of an EUT and its location in the standard induction coils. The maximum EUT volume is limited by the +3 dB isoline in the x - y plane and by the ± 3 dB isolines in the x - z plane.

The inductance for the single turn standard 1 m $\times$ 1 m coil is approximately 2,5 μ H and for the 1 m $\times$ 2,6 m standard coil is approximately 6 μ H.

For the field computations the finite cross-section of the loop conductors are neglected (thin wire approximation).

B.2 1 m $\times$ 1 m induction coil

The +3 dB and -3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) are shown in Figure B.1 for the x - y plane and in Figure B.2 for the x - z plane. The maximum EUT size is width $\times$ length $\times$ height = 0,6 m $\times$ 0,6 m $\times$ 0,5 m..



IEC

NOTE The -3 dB isoline is not shown because it is outside the loop

Figure B.1 – +3 dB isoline for the magnetic field strength (magnitude) in the x - y plane for the 1 m $\times$ 1 m induction coil

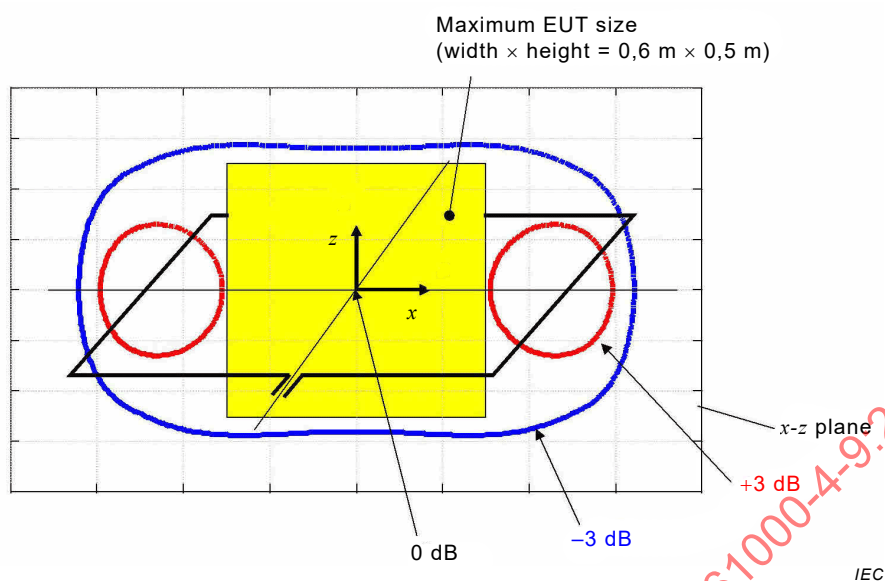
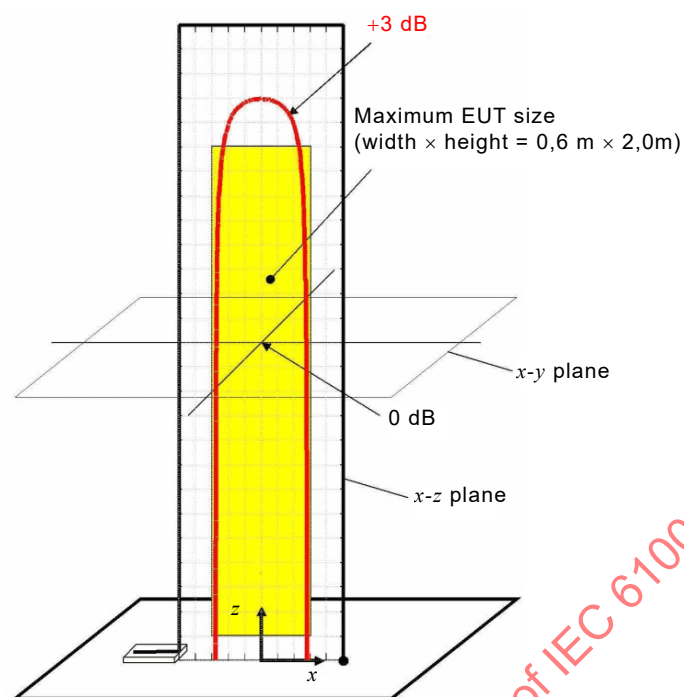


Figure B.2 – +3 dB and –3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) in the x - z plane for the 1 m × 1 m induction coil

B.3 1 m × 2,6 m induction coil with reference ground plane

The +3 dB and -3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) are shown in Figure B.3 for the x - z plane and in Figure B.4 for the x - y plane. The maximum EUT size is width × length × height = 0,6 m × 0,6 m × 2 m.

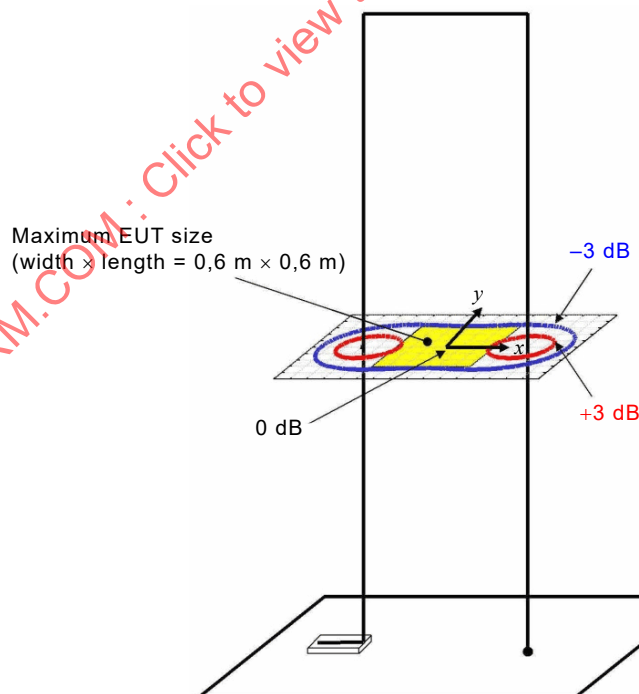
For the calculation of the ± 3 dB isolines the size of the reference ground plane is considered as infinite.



IEC

NOTE The -3 dB isoline is not shown because it is outside the loop.

Figure B.3 – +3 dB isoline for the magnetic field strength (magnitude) in the x - z plane for the 1 m x 2,6 m induction coil with reference ground plane

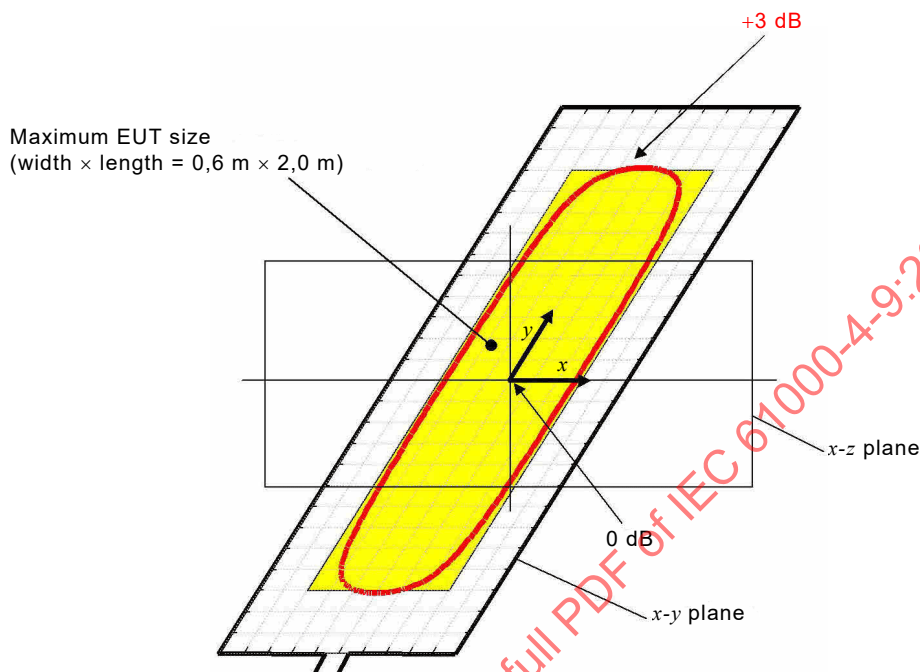


IEC

Figure B.4 – +3 dB and -3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) in the x - y plane for the 1 m x 2,6 m induction coil with reference ground plane

B.4 1 m × 2,6 m induction coil without reference ground plane

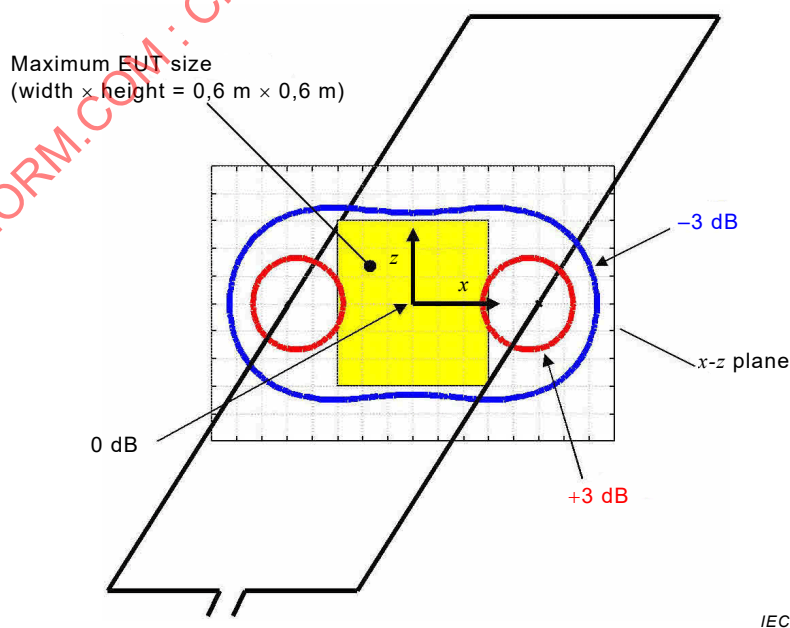
The +3 dB and –3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) are shown in Figure B.5 for the x - y plane and in Figure B.6 for the x - z plane. The maximum EUT size is width × length × height = 0,6 m × 0,6 m × 2 m.



IEC

NOTE The –3 dB isoline is not shown because it is outside the loop.

Figure B.5 – +3 dB isoline for the magnetic field strength (magnitude) in the x - y plane for the 1 m × 2,6 m induction coil without reference ground plane



IEC

Figure B.6 – +3 dB and –3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) in the x - z plane for the 1 m × 2,6 m induction coil without reference ground plane

Annex C (informative)

Selection of the test levels

Test levels shall be selected in accordance with the electromagnetic environment in which the equipment concerned is intended to be used, taking into account most realistic installation conditions.

Recommendations for test levels are given in Clause 5. The actual selection of test levels should take into account

- the electromagnetic environment;
- the potential proximity of impulse magnetic field disturbances sources to the equipment concerned;
- the installation conditions typically to be expected for an installation in the electromagnetic environment under consideration;
- the need and amount of compatibility margins, i.e. the margin between the maximum disturbance level and considered immunity level.

An appropriate test level for equipment depends on the electromagnetic environment in which equipment is intended to be used. Based on common installation practices which are representative for the electromagnetic environment concerned, a guide for the selection of test levels for impulse magnetic fields testing may be the following:

Class 1: Electromagnetic environment with particular mitigation measures employed in order to allow electromagnetic phenomena to occur to a certain extent only (e.g. phenomenon does not occur, phenomenon occurs with a relatively low amplitude only, etc.)

Controlled electromagnetic environment: where sensitive devices are planned to be used (e.g. electron microscopes, cathode ray tubes, etc.)

The test is not applicable to equipment intended to be used in this class of environment.

Class 2: Electromagnetic environment representative for residential areas

The test is not applicable to equipment intended to be used in this class of environment because the locations concerned are not subjected to the influence of switching phenomena in medium-voltage and high-voltage substations.

Class 3: Electromagnetic environment representative for office/commercial areas

Locations of this class of environment are characterized by a potential proximity to medium-voltage and high-voltage switchgear or to conductors carrying corresponding transients. A computer room in the vicinity of a sub-station might be a representative for such location.

Class 4: Electromagnetic environment representative for industrial areas

Locations of this class of environment are characterized by the presence of medium-voltage or high-voltage substations and of conductors carrying transient fault currents. Control rooms of sub-stations and fields with high-current equipment/installations might be representatives for such locations.

Class 5: Harsh electromagnetic environment which can be characterized by the following attributes: conductors, bus-bars or M.V. or H.V. lines carrying tens of kA

Switchyard areas of heavy industrial plants, M.V./H.V. sub-stations and power stations might be representatives for locations with such an electromagnetic environment.

Class X: Special electromagnetic environment

The minor or major electromagnetic separation of interference sources from equipment circuits, cables, lines, etc., and the quality of the installations may require the use of higher or lower test levels than those described above. This may need a case-by-case assessment.

It should be noted that the lines of equipment (e.g. cabling, bus bars, overhead lines) associated to electromagnetic environments with higher test levels can penetrate into locations being assigned to an environment with lower test levels. In such cases a re-assessment of the latter location with respect to the suitable test levels should be carried out.

The above selection of test levels in terms of electromagnetic environments should be used as a guide only. There might be cases where a location might be assigned to one of the above types of electromagnetic environments but due to the features of the equipment concerned or other circumstances a different test level than that associated to that type of electromagnetic environment might be more appropriate. Corresponding assessment should be done by the parties involved (e.g. product committees).

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-9:2016

Annex D (informative)

Measurement uncertainty (MU) considerations

D.1 General

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

In order to evaluate MU it is necessary to:

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

These estimates and uncertainties, derived for a particular disturbance quantity, do not describe the degree of agreement between the simulated electromagnetic phenomenon, as defined in the basic standards, and the real electromagnetic phenomenon in the world outside the laboratory.

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

D.2 Legend

I_P	Peak of the current impulse injected into the coil
H_P	Peak of the magnetic field impulse
k_{CF}	Coil factor of the induction coil: $H_P = k_{CF} \times I_P$
T_f	Front time of the current and magnetic field impulses: $T_f = 1,25 T_r$
T_r	Rise time of the current and magnetic field impulses, defined as the time from 10 % to 90 % of the peak value
T_w	Width of the current and magnetic field impulses
T_d	Duration of the current and magnetic field impulses: $T_d = 1,18 T_w$

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

D.3 Uncertainty contributors to the surge current and to the surge magnetic field measurement uncertainty

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

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

D.4 Uncertainty of surge current and surge magnetic field calibration

D.4.1 General

In the case of the magnetic field test, the disturbance quantities are the surge current generated by the test generator and injected into the coil terminals and the surge magnetic field applied to the EUT. As discussed in Clause D.1, an uncertainty budget for each measured parameter of the disturbance quantity is required. The parameters of these disturbance quantities are I_P , T_f and T_d for the surge current, and H_P for the surge magnetic field. It is assumed that the magnetic field generated by the induction coil is proportional to the current flowing into its terminals, the constant of proportionality being the coil factor k_{CF} . Therefore the surge magnetic field has the same front time and width as the surge current, and the peak of the magnetic field is obtained as $H_P = k_{CF} \times I_P$.

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

D.4.2 Front time of the surge current

The measurand is the surge current front time calculated by using the functional relationship

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

where

$$T_{MS} = \frac{\alpha}{B} \quad (D.2)$$

and:

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

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

Table D.1 – Example of uncertainty budget for surge current front time (T_f)

Symbol	Estimate	Unit	Error bound	Unit	PDF ^a	Divisor	$u(x_i)$	c_i	Unit	$u_i(y)$	Unit
$T_{10\%}$	0,74	μs	0,005 0	μs	triangular	2,45	0,002 0	-1,256 3	1	0,002 6	μs
$T_{90\%}$	7,94	μs	0,005 0	μs	triangular	2,45	0,002 0	1,256 3	1	0,002 6	μs
δR	0	μs	0,025	μs	normal ($k=1$)	1,00	0,025 0	1,256 3	1	0,031 4	μs
A	360	μs kHz	40	μs kHz	rectangular	1,73	23,094 0	-0,000 3	1/kHz	0,005 8	μs
B	500	kHz	50	kHz	rectangular	1,73	28,867 5	0,000 2	$\mu\text{s}/\text{kHz}$	0,005 3	μs
$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$										0,0325 6	μs
$U(y) = 2 u_c(y)$										0,06	μs
y										8,95	μs

^a Probability density function

$T_{10\%}$, $T_{90\%}$: is the time reading at 10 % or 90 % of the peak amplitude. The error bound is obtained assuming a sampling frequency of 100 MS/s and a trace interpolation capability of the scope (triangular probability density function). Were this not the case, a rectangular probability density function should be assumed. Only the contributor to MU due to the sampling rate is considered here, for additional contributors see D.4.5. The readings are assumed to be $T_{10\%} = 0,74 \mu\text{s}$ and $T_{90\%} = 7,94 \mu\text{s}$.

T_{MS} : is the calculated rise time of the step response of the measuring system. The coefficient α (see Clause D.2), depends on the shape of the impulse response of the measuring system. The range 360 ± 40 is representative of a wide class of systems, each having a different shape of the impulse response (see D.4.6 and Table D.4). The bandwidth B of the measuring system can be experimentally obtained (direct measurement of the bandwidth) or calculated from the bandwidth B_i of each element of the measurement system (essentially a current probe, a cable and a scope) by using the following equation:

$$\frac{1}{B} = \sqrt{\left(\frac{1}{B_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{B_2}\right)^2 + \dots} \quad (\text{D.3})$$

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

δR : is the 10 % to 90 % rise time non-repeatability. It quantifies the lack of repeatability in the measurement of $T_{90\%} - T_{10\%}$ due to the measuring instrumentation, the layout of the measurement setup and the surge generator itself. It is determined experimentally. This is a type A evaluation based on the formula of the experimental standard deviation $s(q_k)$ of a sample of n repeated measurements q_j and given by

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2} \quad (\text{D.4})$$

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

D.4.3 Peak of the surge current and magnetic field

The measurand is the peak of the surge current injected into the coil and calculated by using the functional relationship

$$I_p = \frac{V_{PR}}{R_T} \frac{1 + \delta R + \delta V}{1 - \left(\frac{\beta}{B}\right)^2} \quad (D.5)$$

where

V_{PR} is the impulse voltage peak reading

R_T is the transfer resistance of the current probe

δR is the correction for non-repeatability

δV is the d.c. vertical accuracy of the scope

B is the –3 dB bandwidth of the measuring system

β is the coefficient whose value is $(14,8 \pm 1,6)$ kHz

Table D.2 – Example of uncertainty budget for the peak of surge current (I_p)

Symbol	Estimate	Unit	Error bound	Unit	PDF ^a	Divisor	$u(x_i)$	c_i	Unit	$u_i(y)$	Unit
V_{PR}	1,15	V	0,002 2	V	triangular	2,45	0,000 92	1 001	1/Ω	0,918	A
R_T	0,001	Ω	0,000 05	Ω	rectangular	1,73	0,000 03	$-151 \cdot 10^3$	A/Ω	33,23	A
δR	0	1	0,03	1	Normal ($k=1$)	1,00	0,030 00	1 151	A	34,53	A
δV	0	1	0,02	1	rectangular	1,73	0,011 55	1 151	A	13,29	A
B	14,8	kHz	1,6	kHz	rectangular	1,73	0,923 76	0,136	A/kHz	0,126	A
B	500	kHz	50	kHz	rectangular	1,73	28,867 51	-0,0040	A/kHz	0,117	A
							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0,050	kA
							$U(y) = 2 u_c(y)$			0,10	kA
							y			1,15	kA
							Expressed in % of 1,15 kA			8,6	%

^a Probability density function

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

R_T : is the transfer resistance of the current shunt or probe. An estimated value of 0,001 Ω and an error bound of 5 % (rectangular probability density function) are assumed.

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

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

β : is a coefficient which depends on the shape of both the impulse response of the measuring system and the standard impulse waveform in the neighborhood of the peak (see D.4.7). The interval $(14,8 \pm 1,6)$ kHz is representative of a wide class of systems, each having a different shape of the impulse response.

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

The uncertainty of the peak of the surge magnetic field is obtained from the functional relationship $H_P = k_{CF} \times I_P$, where k_{CF} is the coil factor as measured or calculated as described in the standard. Therefore, if the calculated k_{CF} is 0,90 (e.g. in the case of a square induction coil whose side is 1 m) and its expanded uncertainty is 5 %, then the best estimate of H_P is 1,04 kA/m and its expanded uncertainty is 9,9 % (see Table D.2)

D.4.4 Duration of the current impulse

The measurand is the duration of the surge current injected into the coil calculated by using the functional relationship

$$T_d = 1,18 \cdot (T_{50\%,F} - T_{50\%,R} + \delta R) \cdot \left[1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2 \right] \quad (D.6)$$

where

$T_{50\%,R}$ is the time at 50 % of peak amplitude at the rising edge of the impulse

$T_{50\%,F}$ is the time at 50 % of peak amplitude at the falling edge of the impulse

δR is the correction for non-repeatability

B is the –3 dB bandwidth of the measuring system

β is the coefficient which value is $(14,8 \pm 1,6)$ kHz

Table D.3 – Example of uncertainty budget for current impulse width (T_d)

Symbol	Estimate	Unit	Error bound	Unit	PDF ^a	Divisor	$u(x_i)$	c_i	Unit	$u_i(y)$	Unit
$T_{50\%,R}$	3,44	μ s	0,005 0	μ s	triangular	2,45	0,002 0	-1,181 1	μ s	0,002 4	μ s
$T_{50\%,F}$	22,34	μ s	0,005 0	μ s	triangular	2,45	0,002 0	1,181 1	μ s	0,002 4	μ s
δR	0	μ s	0,15	μ s	Normal ($k=1$)	1,00	0,150 0	1,181 1	μ s	0,177 1	μ s
β	14,8	kHz	1,6	kHz	rectangular	1,73	0,923 8	-0,002 6	μ s/kHz	0,002 5	μ s
B	500	kHz	50	kHz	rectangular	1,73	28,867 5	0,000 1	μ s/kHz	0,002 2	μ s
$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$										0,177 2	μ s
$U(y) = 2 u_c(y)$										0,4	μ s
y										22,3	μ s

^a Probability density function

$T_{50\%,R}, T_{50\%,F}$: is the time reading at 50 % of the peak amplitude on the rising or falling edge of the surge current. The error bound is obtained assuming a sampling frequency of 100 MS/s (the same as in D.4.2) and a trace interpolation capability of the scope (triangular probability density function). Were this not the case, a rectangular probability density function should be assumed. Only the contributor to MU due to the sampling rate is considered here. For additional contributors see D.4.5. The readings are assumed to be $T_{50\%,R} = 3,44 \mu$ s and $T_{50\%,F} = 22,34 \mu$ s.

δR : quantifies the non-repeatability of the $T_{50\%,F} - T_{50\%,R}$ time difference measurement due to the measuring instrumentation, the layout of the measurement setup and the test generator

itself. It is determined experimentally. This is a type A evaluation quantified by the experimental standard deviation of a sample of repeated measurements. An error bound $s(q_k) = 150$ ns (1 standard deviation of a normal probability density function) and an estimate of 0 ns are assumed.

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

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

D.4.5 Further MU contributions to time measurements

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

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

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

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

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

$$T_{rd} = \sqrt{T_r^2 + T_{MS}^2} \quad (D.7)$$

where T_{rd} is the rise-time of the signal at the output of the measuring system (distorted rise-time), T_r is the rise-time of the signal at the input of the measuring system, and T_{MS} is the rise time of the step response of the measuring system. It is important to observe that the derivation of equation (D.7) is based on the following definition of the rise time

$$T_{MS} = \sqrt{2\pi \int_0^{\infty} (t - T_s)^2 h_0(t) dt} \quad (D.8)$$

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

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

$$T_s = \int_0^{\infty} t h_0(t) dt \quad (D.9)$$

Equation (D.8) is easier to handle, from the mathematical point of view, than the usual one based on the 10 % and 90 % threshold levels. Nonetheless, in the technical applications, the

10 % to 90 % rise times are usually combined through equation (D.7). With the –3 dB bandwidth of the system, the two definitions lead to comparable rise times. If we define

$$\alpha = T_{MS} \cdot B \quad (D.10)$$

then we find that the α values derived from the two definitions of rise-time do not differ very much. The values of α , corresponding to different shapes of the impulse response $h(t)$, are given in Table D.4. It is evident from Table D.4, that it is not possible to identify a unique value of α because α depends both on the adopted definition of the rise time (e.g. based on thresholds or on equation (D.7)) and on the shape of the impulse response of the measuring system. A reasonable estimate of α can be obtained as the arithmetic mean between the minimum (321×10^{-3}) and maximum (399×10^{-3}) values that appear in Table D.4, that is, 360×10^{-3} . Further, it can be assumed that, if no information is available about the measuring system apart from its bandwidth, any value of α between 321×10^{-3} and 399×10^{-3} is equally probable. Differently stated, α is assumed to be a random variable having a rectangular probability density function with lower and upper bounds of 321×10^{-3} and 399×10^{-3} , respectively. The standard uncertainty of α quantifies both a) the indifference to the mathematical model adopted for the definition of the rise-time, and b) the indifference to the shape of the impulse response of the system.

Table D.4 – α factor (see equation (D.10)) of different unidirectional impulse responses corresponding to the same bandwidth of system B

Values of α are multiplied by 10^3	Gaussian	I order	II order (crit. damp.)	Rectangular	Triangular
α , using equation (D.8)	332	399	363	321	326
α , 10 % to 90 %	339	350	344	354	353

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

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

$$V_{out}(t) = \int_0^t V_{in}(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau \quad (D.11)$$

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

$$V_{in}(t) = V_p + \frac{V_{in}''(t_p)}{2} \cdot (t - t_p)^2 + \frac{V_{in}'''(t_p)}{6} \cdot (t - t_p)^3 + \dots \quad (D.12)$$

Note that the first order term is missing from equation (D.12) since $V'(t_p) = 0$. Further $V_{in}''(t_p) < 0$, because the concavity points downwards (maximum), and $V_{in}'''(t_p) > 0$, because, for the standard waveforms of interest here, the rise time is lower than the fall time. Substituting equation (D.12) into equation (D.11) and after simplifications, valid when the bandwidth of the measuring system is large with respect to the bandwidth of the input signal (so that the power series terms whose order is greater than two are negligible), we obtain

$$V_{pd} = \frac{V_p}{A} \left[1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2 \right] \quad (D.13)$$

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

$$\beta = \alpha \cdot \sqrt{\frac{|V''_{in}(t_p)|}{4\pi V_p}} \quad (D.14)$$

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

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

$$V_p T_W = A V_{pd} T_{wd} \quad (D.15)$$

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

$$T_{wd} = \frac{V_p}{A V_{pd}} T_W = \frac{1}{1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2} \cdot T_W \quad (D.16)$$

Table D.5 – β factor (equation (D.14)) of the standard current surge waveform

kHz	8/20 μ s
β	14,8 $\pm$ 1,6

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

Generally, in order to be confident that the current and the magnetic field surges are within their specifications, the calibration results should be within the specified limits of this standard (tolerances are not reduced by MU).

Further guidance is given in IEC TR 61000-1-6:2012, Clause 6.

Annex E (informative)

Mathematical modelling of surge current waveforms

E.1 General

Annex E provides reference mathematical waveforms for:

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

The formulae have been defined considering the following requirements:

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

NOTE For current surge (8/20 μ s), the defined mathematical waveforms match well with those defined in IEEE Std C62.45-2002.

The following parameter definitions are used:

- a) T_w is the width time defined as the time between the 50 % of the rising and falling front of the waveform.
- b) T_r is the rise time for current surge defined as the time between the 10 % and 90 % of the early time response of the waveform.
- c) T_d is the duration time between the minimum value of the early time response and the 50 % of the falling time.
- d) T_f is the front time defined as the time between the intersection of a line, having a slope that approximates the early time response, with the horizontal line that passes through the minimum and maximum value of the waveform respectively. The following values are defined that match well with the waveforms provided by the simplified circuits using model simulations:

current surge (8/20 μ s): $T_f = 1,25 \times T_r$; $T_d = 1,18 \times T_w$

- e) BW is the bandwidth of the surge waveforms defined at the frequency where the spectral response begins to roll off with a slope of –60 dB/decade.

E.2 Normalized time domain current surge (8/20 μ s)

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

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

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

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

$$k_{\text{SURGE}} = e^{\frac{-\tau_1}{\tau_2} \left(\frac{\eta_{\text{SURGE}} \cdot \tau_2}{\tau_1} \right)^{\frac{1}{\eta_{\text{SURGE}}}}} \quad (\text{E.2})$$

The plot of the 8/20 μs current surge as a function of time is shown in Figure E.1.

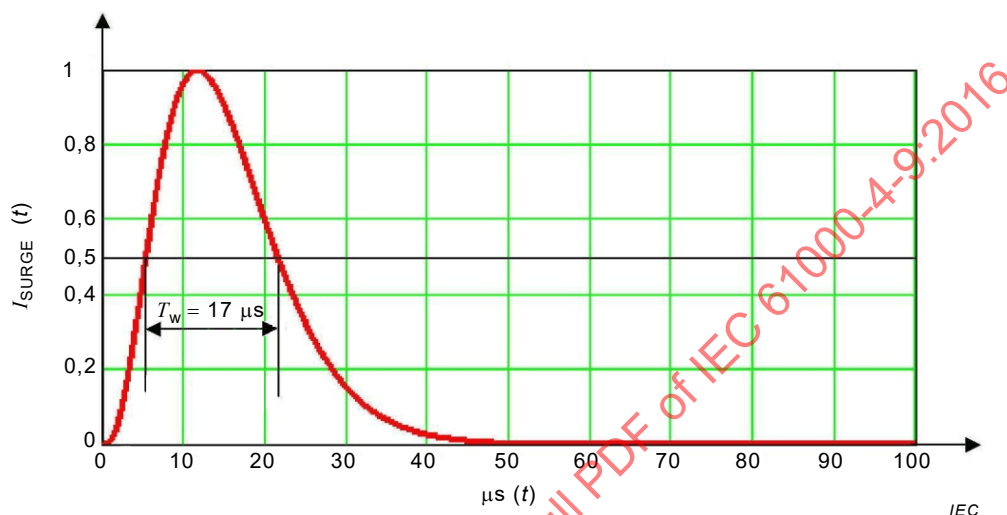


Figure E.1 – Normalized current surge (8/20 μs): Width time response T_w

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

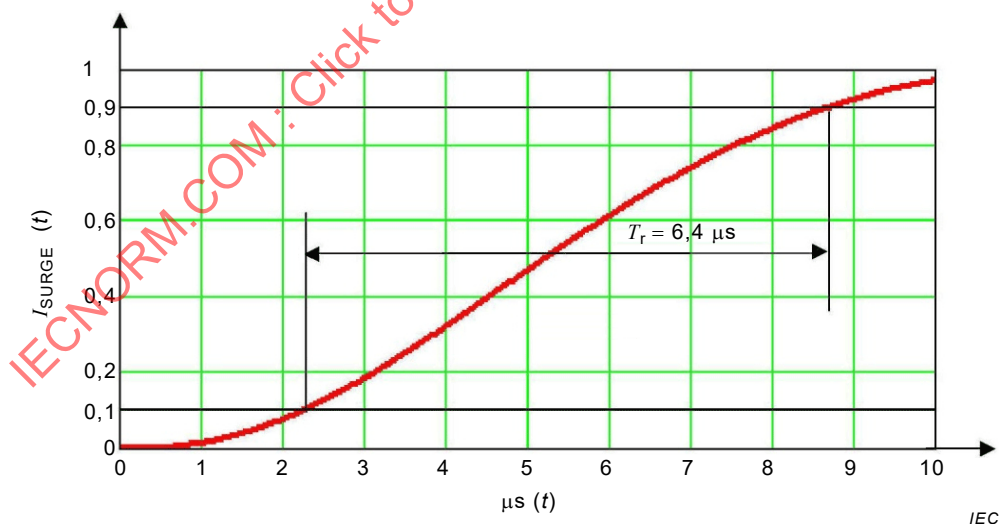


Figure E.2 – Normalized current surge (8/20 μs): Rise time response T_r

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

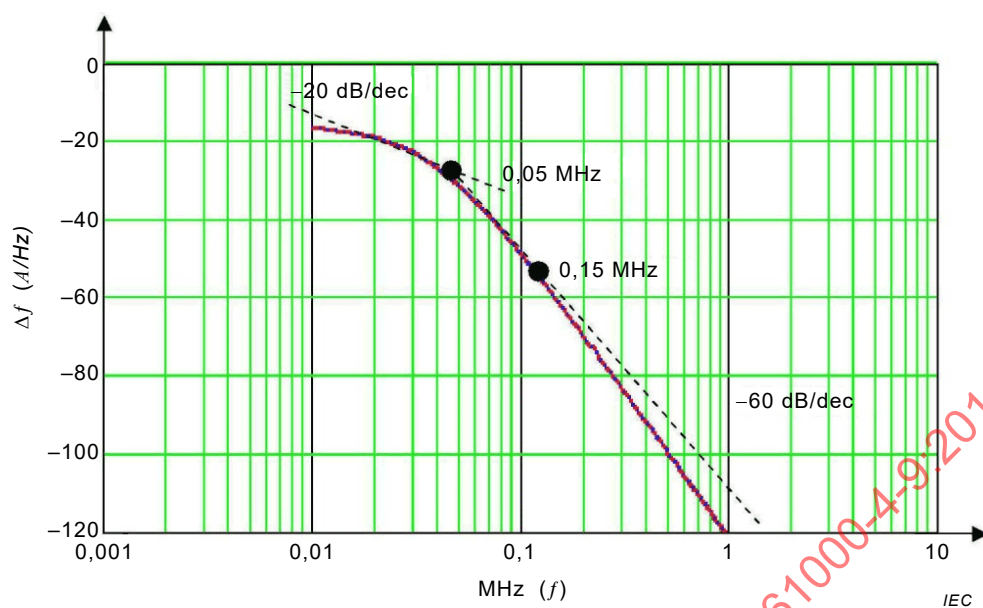


Figure E.3 – Current surge (8/20 μs): Spectral response with $\Delta f = 10$ kHz

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

Annex F (informative)

Characteristics using two standard induction coils

F.1 General

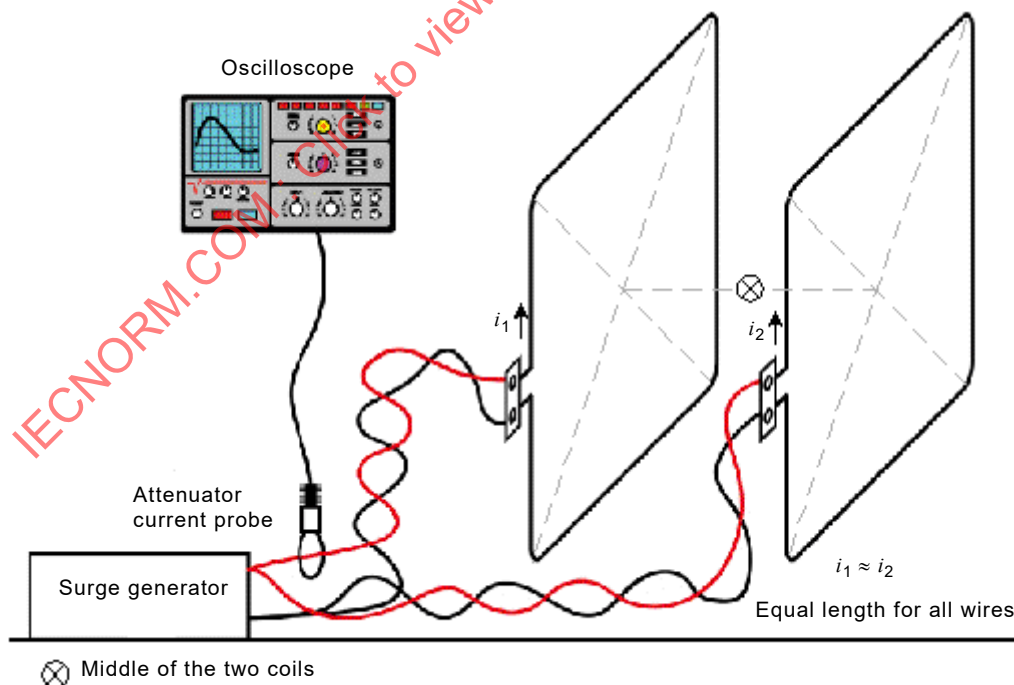
Annex F gives an example of Helmholtz coils using two 1 m × 1 m standard induction coils connected in parallel to the combination wave generator. This double induction coil may be used to obtain a better field homogeneity and for testing larger EUTs.

The test volume of the double 1 m × 1 m standard induction coils, which are 0,8 m spaced, is defined in Clause F.3.

F.2 Particular requirements for calibration

The characteristics of this test system can be calibrated by using a current measurement as described in Figure F.1. The current in both coils should be measured and should be identical.

The output current can be verified with the generator connected to the two standard induction coils. In order to comply with the specification given in Table 3 for the 1 m × 1 m standard induction coil, an external capacitor (e.g. 18 µF) in series may be required. The capacitor may be incorporated in the generator. The connection is realized by twisted conductors with a suitable cross-section of up to 3 m length. Identical cable length should be used to supply both coils and to ensure proper distribution of the current. The current in both coils should be checked for the same H-field orientation.



IEC

Figure F.1 – Example of a test system using double standard induction coils

The specifications given in Table F.1 can be verified for all applicable test levels.

Table F.1 – Specifications of the waveform peak current of this test system

Test level	Peak current $I \pm 10\%$ in each coil A
1	not applicable
2	not applicable
3	106
4	319
5	1 064
X ^a	Special/0,94
NOTE 1 The value 0,94 is the measured and simulated coil factor in the middle of the two coils. NOTE 2 A combination wave generator with higher current supply capabilities than required for tests level 4 in IEC 61000-4-5 may be needed for testing at test levels 5 or X. ^a "X" can be any level, above, below or in between the others. The level shall be specified in the dedicated equipment specification.	

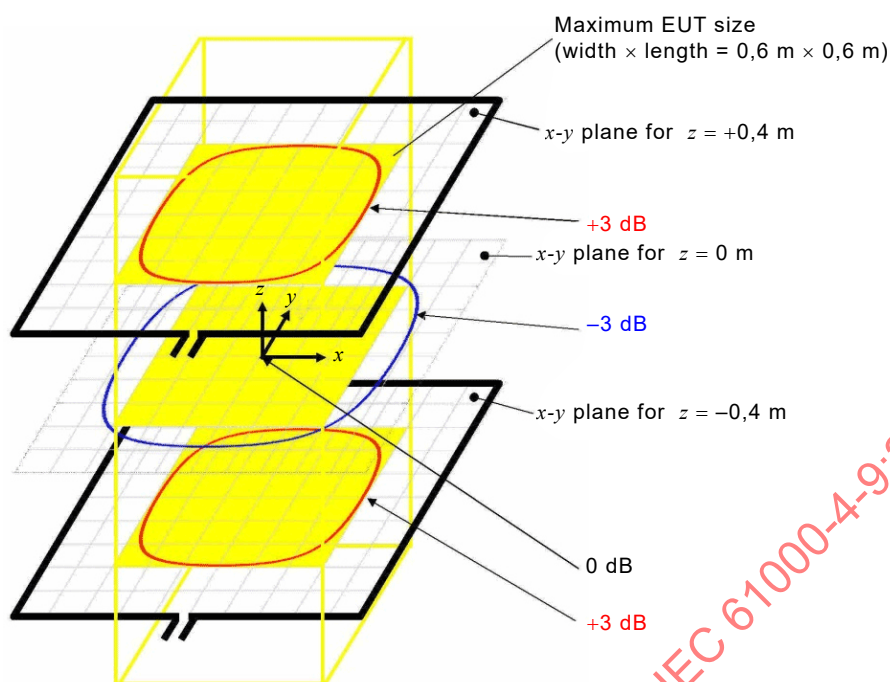
If a current transformer (probe) is used to measure the short-circuit current, it should be selected, so that saturation of the magnetic core does not occur. The lower (-3 dB) corner frequency of the probe should be less than 100 Hz. The calibration should be carried out with a current probe and an oscilloscope or other equivalent measurement instrumentation with a bandwidth of not less than 1 MHz.

F.3 Field distribution of the double induction coil arrangement

Clause F.3 gives information on the maximum size of an EUT and its location in the double coil arrangement. According to the main part of the standard, the EUT shall be located within a volume, where the magnitude of the magnetic field strength is within ± 3 dB of the field strength, in the centre of the double coil arrangement.

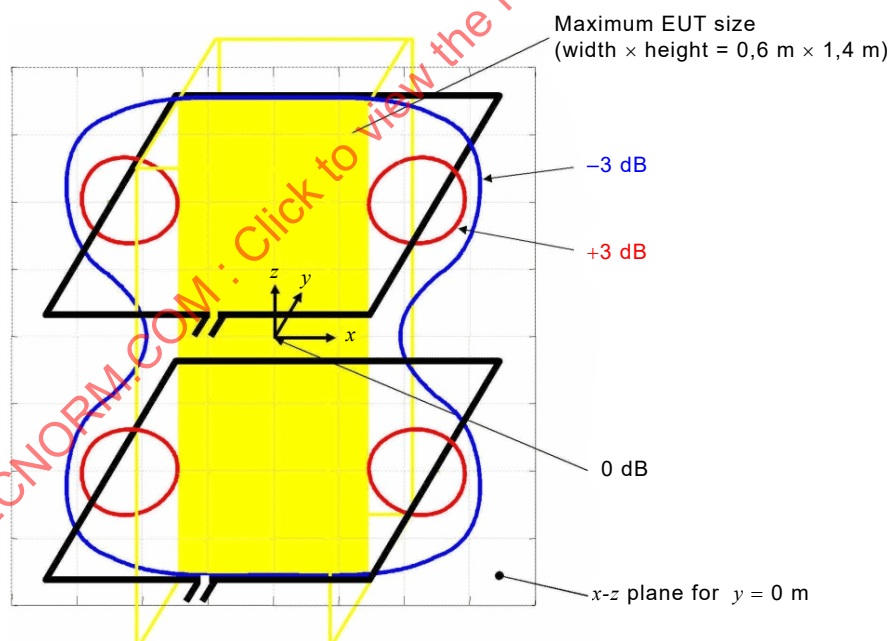
For the field computations the finite cross-section of the coil conductors are neglected (thin wire approximation). The computations were performed for two 1 m × 1 m standard induction coils, 0,8 m spaced.

The +3 dB and -3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) are shown in Figure F.2 for the x - y plane and in Figure F.3 for the x - z plane. The maximum EUT size is width × length × height = 0,6 m × 0,6 m × 1,4 m.



IEC

Figure F.2 – +3dB isoline for the magnetic field strength (magnitude) in the x-y plane for the double induction coil arrangement (0,8 m spaced)



IEC

Figure F.3 – +3 dB and -3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) in the x-z plane for the double induction coil arrangement (0,8 m spaced)

Annex G (informative)

3D numerical simulations

G.1 General

In Annex G some other information is reported concerning the H-field distributions inside and outside the coils for testing by using 3D numerical simulations in the time domain (dynamic results) and frequency domain (2D-numerical plot of the H-field) as extension of the 2D plots of Annex B (static results).

G.2 Simulations

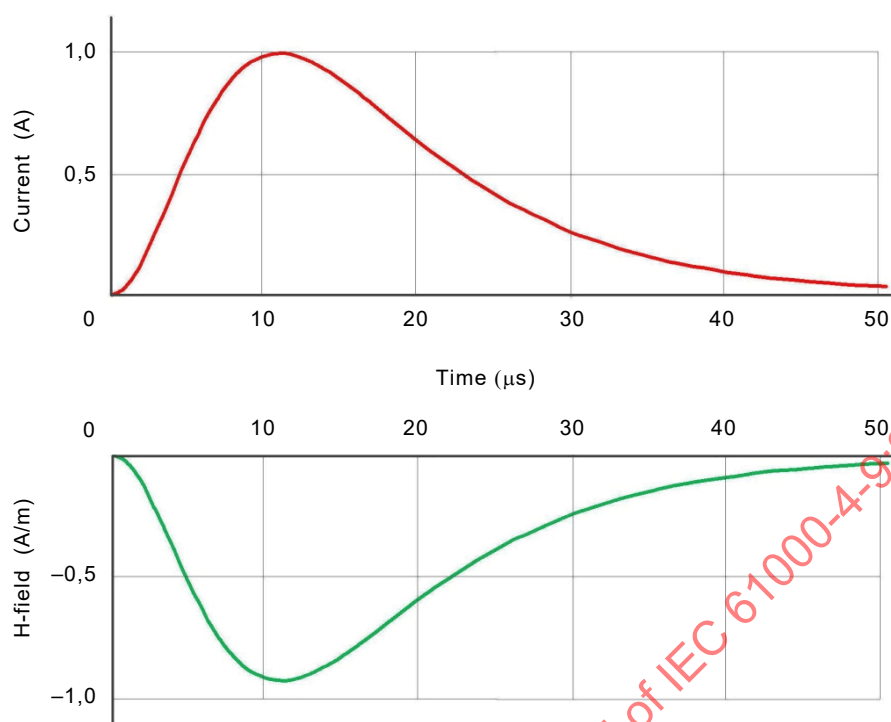
The simulations of Figures G.1 to G.12 are performed as follows:

- The coils are excited by an ideal current source (see the symbol "port") having the mathematical waveform as defined in Annex E of this standard and normalized at 1 A.
- Two extreme shape conductors of the coil are considered: one of a rectangular size 10 cm × 1 cm (reported in Annex G) and a round wire of 1 mm radius (results not reported for brevity).
- Default mesh cells are used to speed up the computation for the plots of Figure G.2 and Figure G.3; for other figures optimized mesh cells are used for better accuracy.
- H-field amplitude is indicated as Hx_i where x indicates that the considered H-field component is parallel to the x -axis while the subscript i corresponds to the H-field probe position from the loop centre to the last far away position.
- The 2D H-field plots are calculated at 1 MHz frequency and 0 dB refers to 1 A/m.

G.3 Comments

The following comments have been taken into account as they relate to the figures.

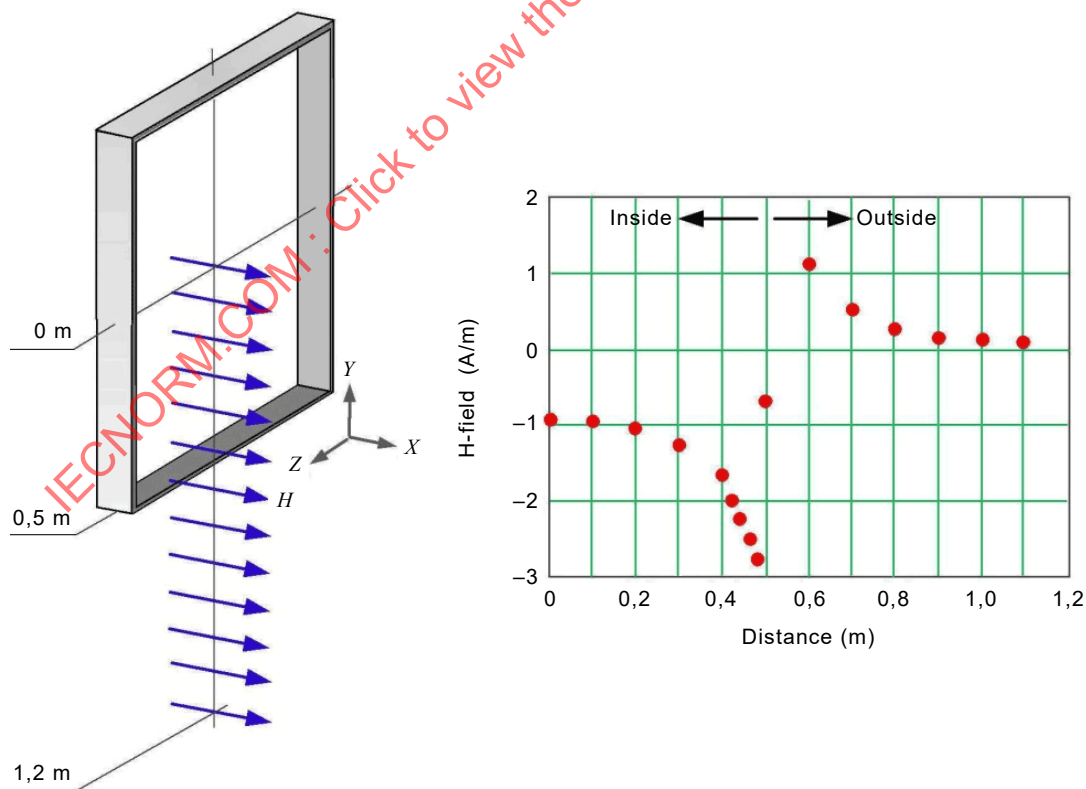
- The computed H-field waveform has the same shape of as that of the coil current source.
- Very little difference can be noted when comparing computed H-field waveforms with two extreme conductor shapes for the same coil size.
- In the centre of the coils, the induction coil factors are 0,90 m⁻¹ and 0,65 m⁻¹ respectively for square and rectangular coils, which practically do not depend on the shape of the coil conductor.
- It is confirmed also by transient simulations that the variation of the H-field is less than + 3 dB for the areas shown in Annex B.
- It is shown and quantified that the H-field increases rapidly when the probe used for H-field computation approaches the conductors of the coil.
- The H-field value outside the loop is about 20 dB to 40 dB (1/10 to 1/100) lower than the field at the centre of the loop. This should be taken into account when carrying out the proximity test method.
- For the double induction coil arrangement, which is 0,6 m spaced (Helmholtz setup), the coil factor in the centre of one coil and between the two coils is respectively: 1,18 m⁻¹ and 1,20 m⁻¹; for the one that is 0,8 m spaced it is respectively: 1,07 m⁻¹ and 0,94 m⁻¹.



IEC

NOTE The amplitude of the H_x -field inside the loop is negative due to the chosen probe directions.

Figure G.1 – Current and H-field in the centre of the 1 m × 1 m induction coil



IEC

Figure G.2 – H_x -field along the side of 1 m × 1 m induction coil in A/m

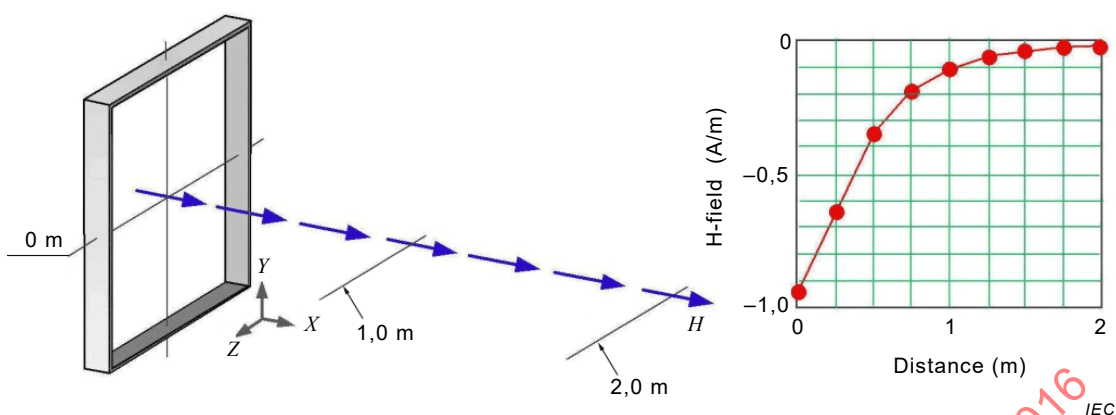


Figure G.3 – H_x -field in direction x perpendicular to the plane of the 1 m x 1 m induction coil

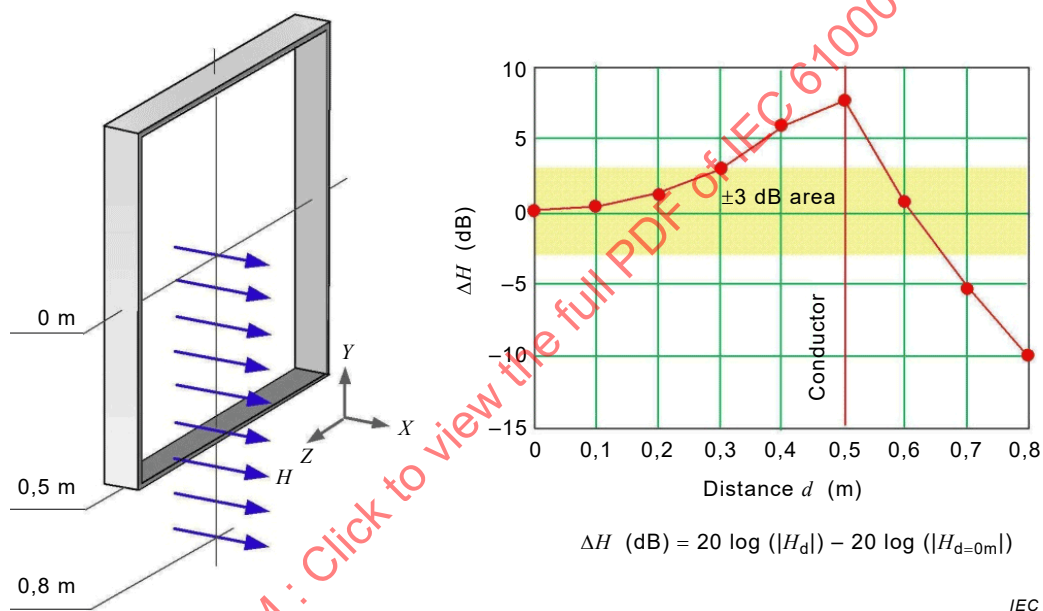


Figure G.4 – H_x -field along the side in dB for the 1 m x 1 m induction coil

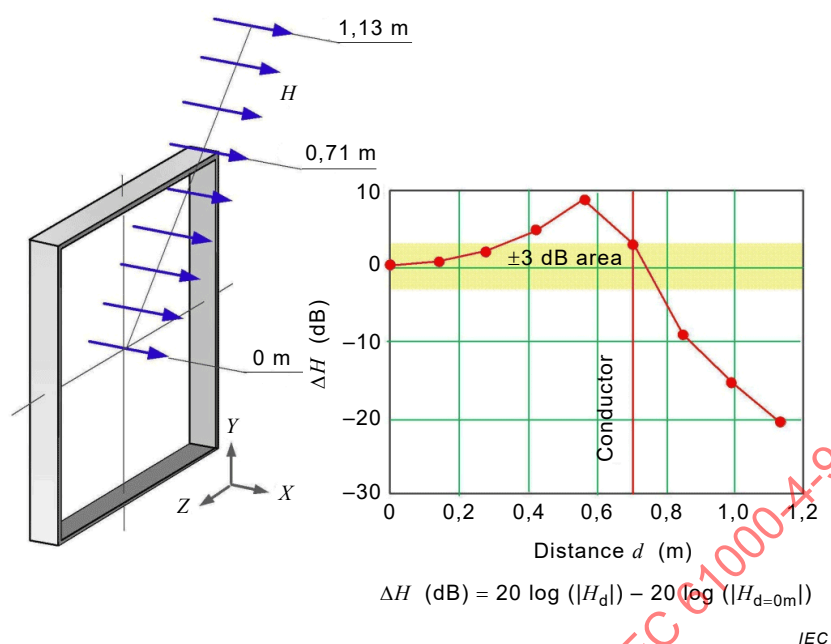


Figure G.5 – H_x -field along the diagonal in dB for the 1 m $\times$ 1 m induction coil

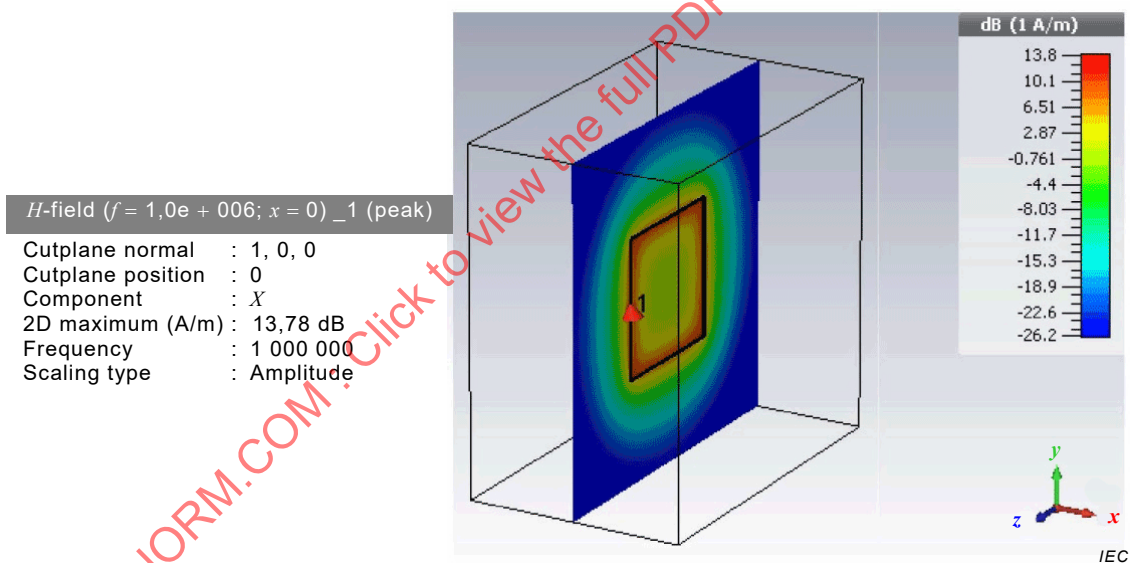


Figure G.6 – H_x -field plot on y - z plane for the 1 m $\times$ 1 m induction coil

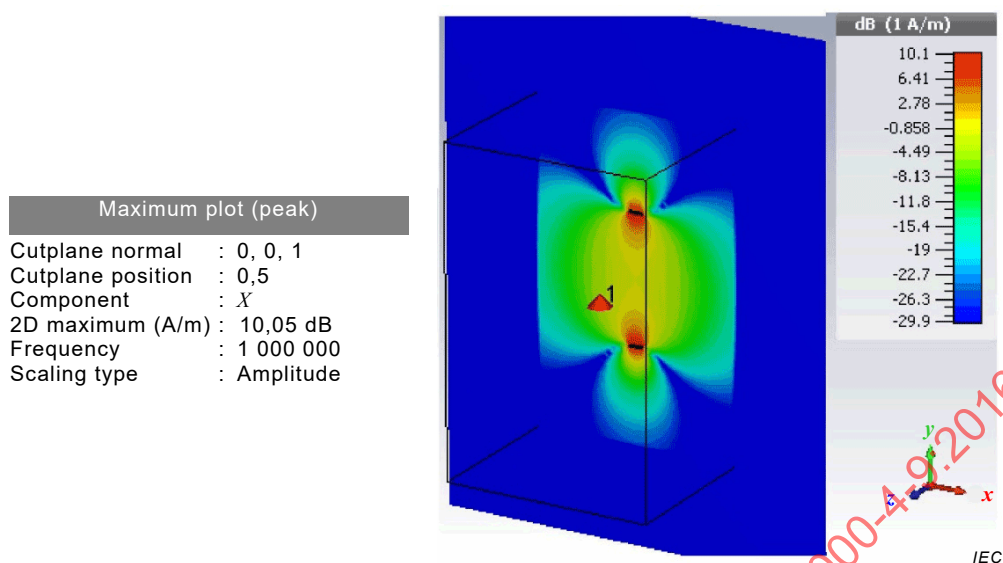


Figure G.7 – H_x -field plot on x - y plane for the 1 m $\times$ 1 m induction coil

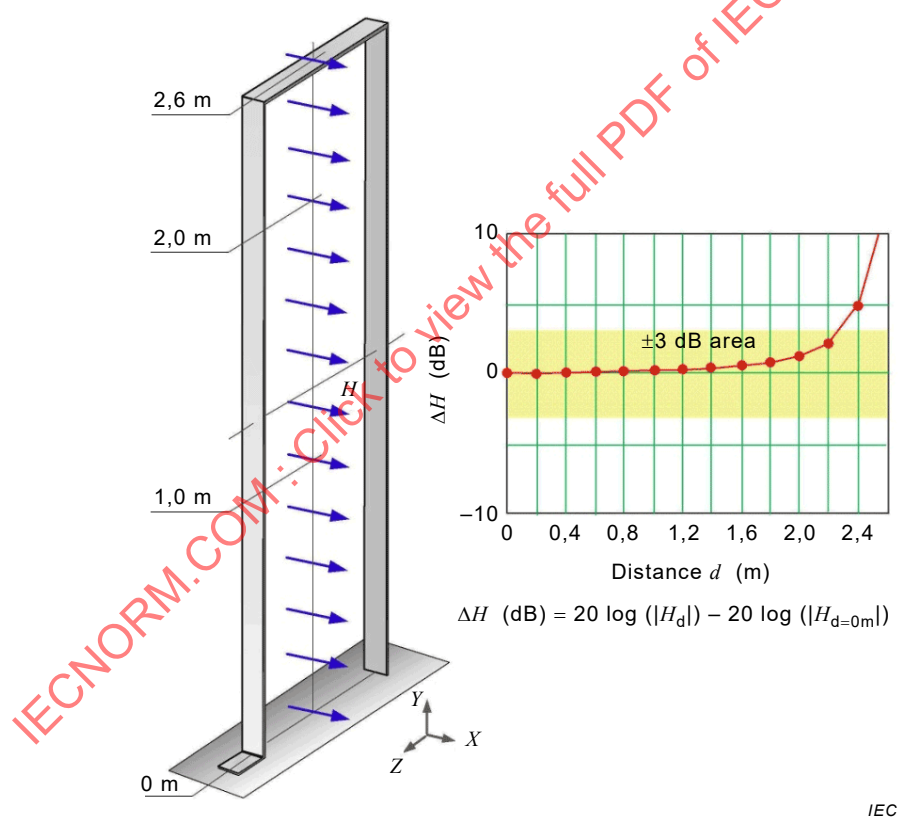


Figure G.8 – H_x -field along the vertical middle line in dB for the 1 m $\times$ 2,6 m induction coil

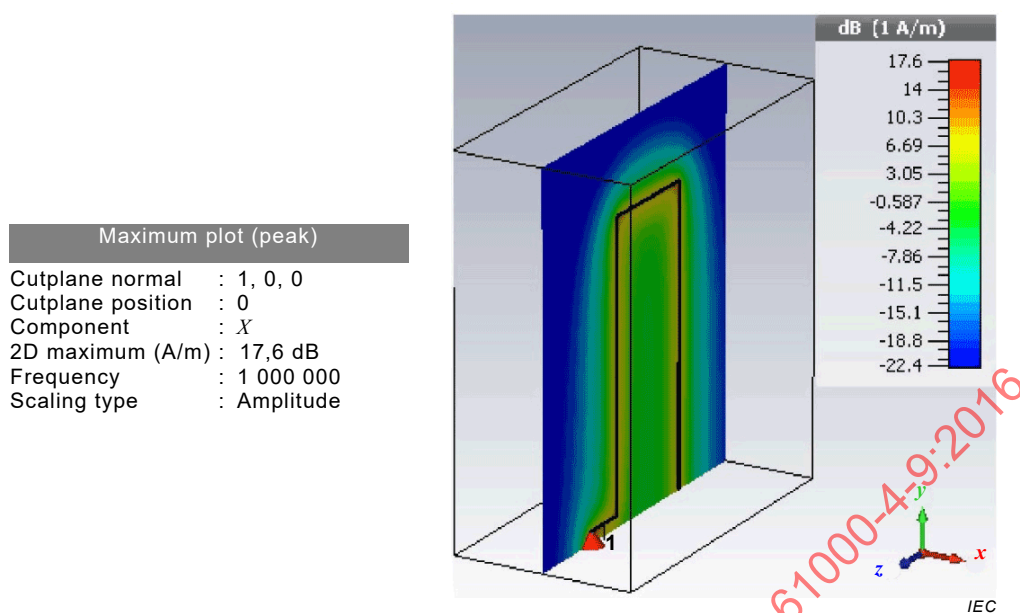


Figure G.9 – H_x -field 2D plot on y - z plane for the 1 m $\times$ 2,6 m induction coil

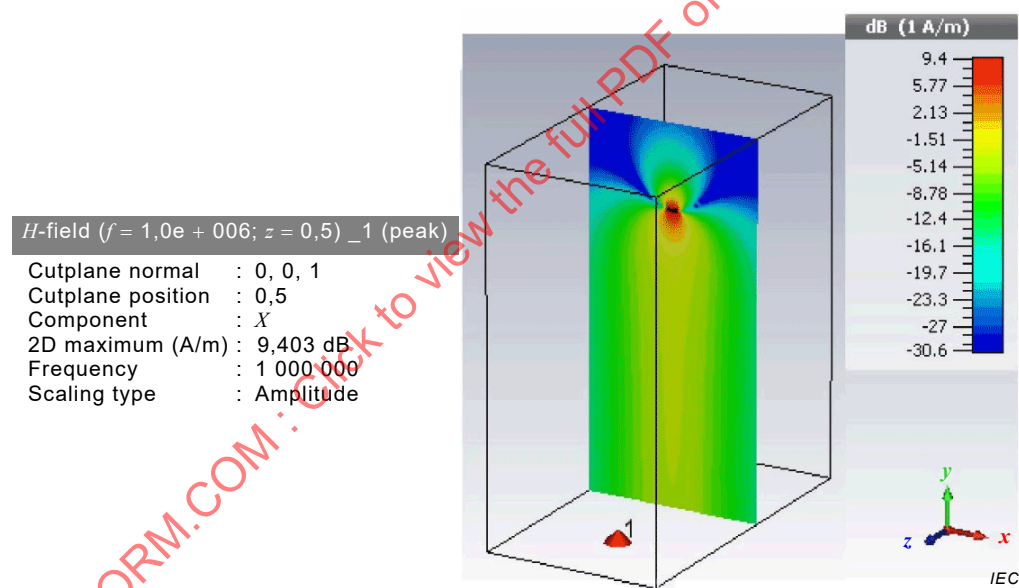


Figure G.10 – H_x -field 2D plot on x - y plane at $z = 0,5$ m for the 1 m $\times$ 2,6 m induction coil

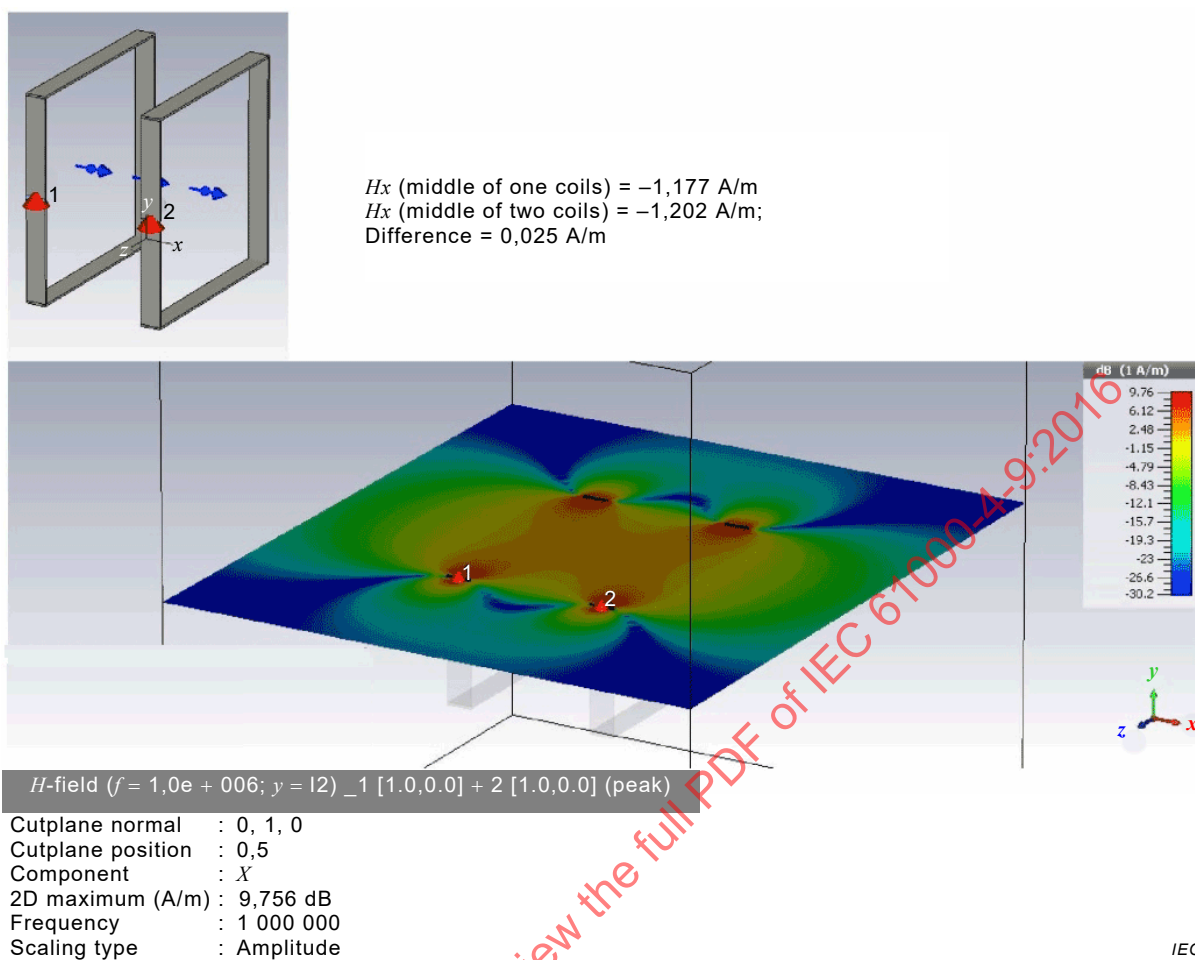
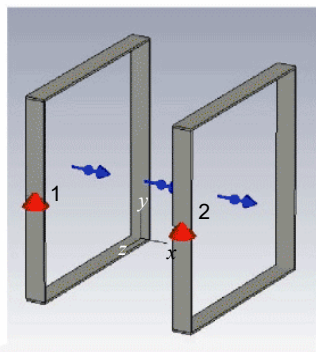
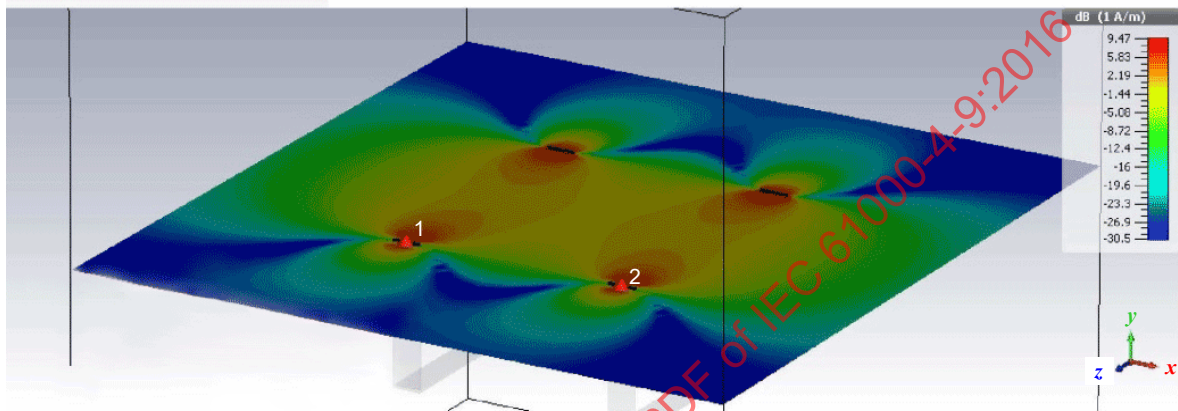


Figure G.11 – Helmholtz setup: H_x -field and 2D plot for two 1 m × 1 m induction coils, 0,6 m spaced



H_x (middle of one coils) = $-1,066$ A/m
 H_x (middle of two coils) = $-0,941$ A/m;
 Difference = $0,125$ A/m



H -field ($f = 1,0e + 006$; $y = 12$) _1 [1.0,0.0] + 2 [1.0,0.0] (peak)

Cutplane normal : 0, 1, 0
 Cutplane position : 0,5
 Component : X
 2D maximum (A/m) : 9,465 dB
 Frequency : 1 000 000
 Scaling type : Amplitude

IEC

Figure G.12 – Helmholtz setup: H_x -field and 2D plot for two $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ induction coils, $0,8\text{ m}$ spaced

Bibliography

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

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

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-9:2016

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	58
INTRODUCTION.....	60
1 Domaine d'application et objet	61
2 Références normatives	61
3 Termes, définitions et termes abrégés.....	62
3.1 Termes et définitions.....	62
3.2 Termes abrégés	64
4 Généralités.....	64
5 Niveaux d'essais.....	64
6 Instrumentation d'essai	65
6.1 Généralités	65
6.2 Générateur d'ondes combinées	65
6.2.1 Généralités	65
6.2.2 Caractéristiques de performances du générateur	66
6.2.3 Etalonnage du générateur	67
6.3 Bobine d'induction.....	67
6.3.1 Distribution du champ	67
6.3.2 Caractéristique des bobines d'induction normalisées de 1 m × 1 m et de 1 m × 2,6 m.....	68
6.4 Etalonnage du système d'essai.....	68
7 Montage d'essai	69
7.1 Équipement d'essai	69
7.2 Vérification de l'instrumentation d'essai	69
7.3 Montage d'essai pour le champ magnétique impulsionnel appliqué à un EUT de table	70
7.4 Montage d'essai pour le champ magnétique impulsionnel appliqué à un EUT posé au sol	71
7.5 Montage d'essai pour le champ magnétique impulsionnel appliqué in situ.....	73
8 Procédure d'essai	73
8.1 Généralités	73
8.2 Conditions de référence du laboratoire	73
8.2.1 Conditions climatiques	73
8.2.2 Conditions électromagnétiques.....	73
8.3 Exécution de l'essai	73
9 Évaluation des résultats d'essais	74
10 Rapport d'essai	74
Annexe A (informative) Caractéristiques des bobines d'induction non normalisées	76
A.1 Généralités	76
A.2 Détermination du facteur de bobine	76
A.2.1 Généralités	76
A.2.2 Mesure du facteur de bobine	76
A.2.3 Calcul du facteur de bobine.....	77
A.3 Mesure des champs magnétiques.....	77
A.4 Vérification des bobines d'induction non normalisées	78
Annexe B (informative) Informations relatives à la distribution du champ des bobines d'induction normalisées.....	79

B.1	Généralités	79
B.2	Bobine d'induction de 1 m × 1 m	79
B.3	Bobine d'induction de 1 m × 2,6 m avec plan de masse de référence	80
B.4	Bobine d'induction de 1 m × 2,6 m sans plan de masse de référence	82
Annexe C (informative) Choix des niveaux d'essais		84
Annexe D (informative) Considérations relatives à l'incertitude de mesure (MU)		86
D.1	Généralités	86
D.2	Légende	86
D.3	Contributeurs à l'incertitude de mesure du courant de choc et du champ magnétique transitoire	86
D.4	Incertitude du courant de choc et étalonnage du champ magnétique transitoire	87
D.4.1	Généralités	87
D.4.2	Durée du front du courant de choc	87
D.4.3	Crête du courant de choc et du champ magnétique	89
D.4.4	Durée du courant de choc	90
D.4.5	Autres contributions à l'incertitude de mesure pour les mesures de temps	91
D.4.6	Distorsion du temps de montée en raison de la largeur de bande limitée du système de mesure	91
D.4.7	Distorsion de la crête et de la largeur d'impulsion en raison de la largeur de bande limitée du système de mesure	92
D.5	Application des incertitudes au critère de conformité du générateur d'ondes de choc	94
Annexe E (informative) Modélisation mathématique des formes d'onde de courant de choc		95
E.1	Généralités	95
E.2	Courant de choc dans le domaine temporel normalisé (8/20 µs)	95
Annexe F (informative) Caractéristiques utilisant deux bobines d'induction normalisées		98
F.1	Généralités	98
F.2	Exigences particulières en matière d'étalonnage	98
F.3	Distribution du champ de la disposition de bobine d'induction double	99
Annexe G (informative) Simulations numériques 3D		101
G.1	Généralités	101
G.2	Simulations	101
G.3	Commentaires	101
Bibliographie		109
Figure 1 – Schéma de circuit simplifié du générateur d'ondes combinées		66
Figure 2 – Forme d'onde du courant de court-circuit (8/20 µs) à la sortie du générateur avec le condensateur de 18 µF en série		67
Figure 3 – Exemple de mesure du courant des bobines d'induction normalisées		68
Figure 4 – Exemple de montage d'essai pour équipement de table montrant le plan orthogonal vertical		71
Figure 5 – Exemple de montage d'essai pour équipement posé au sol montrant le plan orthogonal horizontal		71
Figure 6 – Exemple de montage d'essai pour équipement posé au sol montrant le plan orthogonal vertical		72

Figure 7 – Exemple de montage d'essai utilisant la méthode de proximité	72
Figure A.1 – Bobine d'induction rectangulaire avec les côtés $a + b$ et c	77
Figure A.2 – Exemple de montage de vérification des bobines d'induction non normalisées	78
Figure B.1 – Isoligne +3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) dans le plan x - y pour la bobine d'induction de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$	79
Figure B.2 – Isolignes +3 dB et -3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) dans le plan x - z pour la bobine d'induction de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$	80
Figure B.3 – Isoligne +3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) dans le plan x - z pour la bobine d'induction de $1 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$ avec plan de masse de référence	81
Figure B.4 – Isolignes +3 dB et -3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) dans le plan x - y pour la bobine d'induction de $1 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$ avec plan de masse de référence	82
Figure B.5 – Isoligne +3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) dans le plan x - y pour la bobine d'induction de $1 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$ sans plan de masse de référence	83
Figure B.6 – Isolignes +3 dB et -3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) dans le plan x - z pour la bobine d'induction de $1 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$ sans plan de masse de référence	83
Figure E.1 – Courant de choc normalisé ($8/20 \text{ } \mu\text{s}$): Réponse dans l'intervalle de temps T_W	96
Figure E.2 – Courant de choc normalisé ($8/20 \text{ } \mu\text{s}$): Réponse de temps de montée T_r	96
Figure E.3 – Courant de choc ($8/20 \text{ } \mu\text{s}$): Réponse spectrale avec $\Delta f = 10 \text{ kHz}$	97
Figure F.1 – Exemple de système d'essai utilisant des bobines d'induction doubles normalisées	98
Figure F.2 – Isoligne +3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) dans le plan x - y pour la disposition de bobine d'induction double (espacée de $0,8 \text{ m}$	100
Figure F.3 – Isolignes +3 dB et -3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) dans le plan x - z pour la disposition de bobine d'induction double (espacée de $0,8 \text{ m}$)	100
Figure G.1 – Courant et champ H_x au centre de la bobine d'induction de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$	102
Figure G.2 – Champ H_x le long de la bobine d'induction de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, en A/m	102
Figure G.3 – Champ H_x dans le sens x perpendiculaire au plan de la bobine d'induction de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$	103
Figure G.4 – Champ H_x le long du côté, en dB, de la bobine d'induction normalisée de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$	103
Figure G.5 – Champ H_x le long de la diagonale, en dB, de la bobine d'induction de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$	104
Figure G.6 – Tracé du champ H_x sur le plan y - z pour la bobine d'induction de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$	104
Figure G.7 – Tracé du champ H_x sur le plan x - y pour la bobine d'induction de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$	105
Figure G.8 – Champ H_x le long de la ligne médiane verticale, en dB, de la bobine d'induction de $1 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$	105
Figure G.9 – Tracé 2D du champ H_x sur le plan y - z pour la bobine d'induction de $1 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$	106
Figure G.10 – Tracé 2D du champ H_x sur le plan x - y à $z = 0,5 \text{ m}$ pour la bobine d'induction de $1 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$	106
Figure G.11 – Montage de Helmholtz: Champ H_x et tracé 2D pour deux bobines d'induction de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$, espacées de $0,6 \text{ m}$	107

Figure G.12 – Montage de Helmholtz: Champ H_x et tracé 2D pour deux bobines d'induction de 1 m × 1 m, espacées de 0,8 m	108
Tableau 1 – Niveaux d'essai	65
Tableau 2 – Définitions des paramètres de forme d'onde 8/20 μ s.....	66
Tableau 3 – Spécifications des paramètres temporels de forme d'onde du système d'essai.....	69
Tableau 4 – Spécifications du courant de crête de forme d'onde du système d'essai	69
Tableau D.1 – Exemple de budget d'incertitude pour la durée du front du courant de choc (T_f).....	88
Tableau D.2 – Exemple de budget d'incertitude pour la crête du courant de choc (I_p).....	89
Tableau D.3 – Exemple de budget d'incertitude pour la largeur de courant de choc (T_d).....	90
Tableau D.4 – Facteur α (voir l'équation (D.10)) de différentes réponses impulsionnelles unidirectionnelles correspondant à la même largeur de bande du système B	92
Tableau D.5 – Facteur β (équation (D.14)) de la forme d'onde de courant de choc normalisé	93
Tableau F.1 – Spécifications du courant de crête de forme d'onde de ce système d'essai.....	99

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-9: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité au champ magnétique impulsif

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale IEC 61000-4-9 a été établie par le sous-comité 77B: Phénomènes haute fréquence, du comité d'études 77 de l'IEC: Compatibilité électromagnétique.

Elle constitue la Partie 4-9 de la série IEC 61000. Elle a le statut d'une publication fondamentale en CEM conformément au Guide 107 de l'IEC.

Cette deuxième édition annule et remplace la première édition parue en 1993 et l'Amendement 1:2000. Cette édition constitue une révision technique.

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

- a) nouvelle Annexe B relative à la distribution du champ de bobine d'induction;

- b) nouvelle Annexe D relative à l'incertitude de mesure;
- c) nouvelle Annexe E relative à la modélisation mathématique de la forme d'onde de choc;
- d) nouvelle Annexe F relative aux caractéristiques utilisant deux bobines d'induction normalisées;
- e) nouvelle Annexe G relative aux simulations numériques 3D;
- f) le calcul du facteur de bobine et l'étalonnage à l'aide par la mesure du courant ont été abordés dans la présente édition.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
77B/728/CDV	77B/745A/RVC

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

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

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

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

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

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

INTRODUCTION

L'IEC 61000 est publiée en plusieurs parties, conformément à la structure suivante:

Partie 1: Généralités

Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)

Définitions, terminologie

Partie 2: Environnement

Description de l'environnement

Classification de l'environnement

Niveaux de compatibilité

Partie 3: Limites

Limites d'émission

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

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure

Techniques de mesure

Techniques d'essai

Partie 5: Guide d'installation et d'atténuation

Guide d'installation

Méthodes et dispositifs d'atténuation

Partie 6: Normes génériques

Partie 9: Divers

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

La présente partie constitue une norme internationale qui traite des exigences en matière d'immunité et des procédures d'essai qui s'appliquent au "champ magnétique impulsionnel".

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-9: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité au champ magnétique impulsionnel

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de l'IEC 61000 spécifie les exigences en matière d'immunité, les méthodes d'essai et la plage des niveaux d'essai recommandés des équipements soumis aux perturbations magnétiques impulsionnelles, principalement dans les:

- installations industrielles,
- centrales électriques,
- installations ferroviaires,
- postes moyenne et haute tension.

L'applicabilité de la présente norme aux équipements installés dans différentes zones est déterminée par la présence du phénomène dans les conditions spécifiées à l'Article 4.

La présente norme n'examine pas les perturbations provoquées par le couplage capacitif ou inductif sur les câbles ou autres parties de l'installation. D'autres normes IEC traitant des perturbations conduites couvrent ces aspects.

La présente norme a pour objet d'établir une référence commune pour évaluer l'immunité des équipements électriques et électroniques lorsqu'ils sont soumis à des champs magnétiques impulsionnels. La méthode d'essai documentée dans la présente partie de l'IEC 61000 décrit une méthode cohérente d'évaluation de l'immunité d'un équipement ou d'un système par rapport à un phénomène défini.

NOTE Comme indiqué dans le Guide 107 de l'IEC, il s'agit d'une publication fondamentale en CEM destinée à être utilisée par les comités de produits de l'IEC. Comme l'indique également le Guide 107, les comités de produits de l'IEC ont la responsabilité de déterminer si cette norme d'essai d'immunité est appliquée ou non, et si elle l'est, ils ont la responsabilité de déterminer les niveaux d'essai et critères de performances appropriés. Le comité d'études 77 et ses sous-comités sont prêts à coopérer avec les comités de produits dans le cadre de l'évaluation de la valeur des essais d'immunité particuliers pour leurs produits.

La présente norme définit:

- une plage de niveaux d'essai;
- l'équipement d'essai;
- les montages d'essai;
- les procédures d'essai.

La tâche du laboratoire d'essai décrit consiste à déterminer la réaction de l'équipement en essai (EUT) dans les conditions de fonctionnement spécifiées aux champs magnétiques impulsionnels générés par la commutation et les effets de la foudre.

2 Références normatives

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

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Électrotechnique International (VEI)* (disponible à l'adresse www.electropedia.org)

3 Termes, définitions et termes abrégés

3.1 Termes et définitions

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

3.1.1

étalonnage

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

Note 1 à l'article: Cette définition s'appuie sur l'approche "incertitude".

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

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

3.1.2

générateur d'ondes combinées

CWG

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

Note 1 à l'article: Cette définition est un raccourci de la définition donnée dans l'IEC 61000-4-5.

Note 2 à l'article: L'abréviation "CWG" est dérivée du terme anglais développé correspondant "combination wave generator".

3.1.3

durée

T_d

<courant de choc pour 8/20 μs > paramètre virtuel défini comme l'intervalle de temps entre le moment où le courant de choc atteint 0,5 de sa valeur de crête et le moment où il chute à 0,5 de sa valeur de crête (T_w), multiplié par 1,18

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

VOIR: Figure 2.

3.1.4

durée du front

T_f

<courant de choc> paramètre virtuel défini comme 1,25 fois l'intervalle T_f entre les moments où l'impulsion est égale à 10 % et 90 % de la valeur de crête

VOIR: Figure 2.

3.1.5

immunité

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

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

3.1.6**bobine d'induction**

boucle d'induction de forme et de dimensions définies dans laquelle un courant circule, en engendrant un champ magnétique d'uniformité constante dans un volume défini

3.1.7**facteur de bobine d'induction**

rapport entre l'intensité du champ magnétique provoquée par une bobine d'induction de dimensions données et la valeur du courant correspondant

Note 1 à l'article: Le champ est mesuré au centre du plan de la bobine, sans tenir compte de l'EUT.

3.1.8**méthode de proximité**

méthode d'application du champ magnétique à l'EUT, dans laquelle une bobine de faible induction est déplacée le long du côté de l'EUT de manière à détecter des zones particulièrement sensibles

3.1.9**plan de masse de référence**

surface conductrice plane dont le potentiel est pris comme référence

3.1.10**temps de montée**

T_r

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

VOIR: Figure 2.

3.1.11**onde de choc**

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

3.1.12**système**

ensemble d'éléments reliés entre eux associés pour atteindre un objectif déterminé en réalisant une fonction spécifiée

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

3.1.13**transitoire, adjectif et nom**

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

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

3.1.14**vérification**

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

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

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

3.2 Termes abrégés

AE	Auxiliary equipment (équipement auxiliaire)
CWG	Combination wave generator (générateur d'ondes combinées)
EFT/B	Electrical fast transient/burst (transitoires électriques rapides en salves)
CEM	Compatibilité électromagnétique
DES	Décharges électrostatiques
EUT	Equipment under test (équipement en essai)
MU	Measurement uncertainty (incertitude de mesure)
RCD	Réseau couplage/découplage
RGP	Reference ground plane (plan de masse de référence)

4 Généralités

Les champs magnétiques auxquels est soumis l'équipement peuvent influencer le bon fonctionnement de celui-ci et des systèmes.

Les essais suivants ont pour objet de démontrer l'immunité de l'équipement lorsqu'il est soumis aux champs magnétiques impulsionnels qui s'appliquent à l'emplacement spécifique et aux conditions d'installation de l'équipement (l'équipement situé à proximité de la source de perturbation, par exemple).

Les champs magnétiques impulsionnels sont provoqués par la chute de la foudre sur des bâtiments ou les autres structures métalliques (les mâts d'antenne, les conducteurs de terre ou les réseaux de terre, par exemple) et par les transitoires de défaut initial se produisant dans les réseaux de puissance basse, moyenne ou haute tension.

Dans les postes haute tension, le champ magnétique impulsionnel peut également être généré par la commutation de barres et lignes haute tension par des disjoncteurs.

L'essai s'applique principalement aux équipements électroniques destinés aux centrales de production et de distribution d'électricité, ainsi qu'à leur centre de commande. Il ne concerne pas les équipements de réseau de distribution (les transformateurs et les lignes d'énergie, par exemple).

Les comités de produits peuvent étudier d'autres applications.

5 Niveaux d'essais

La plage préférentielle des niveaux d'essais est donnée au Tableau 1.

Tableau 1 – Niveaux d'essai

Niveau	Intensité des champs magnétiques impulsionnels
	A/m (crête)
1	non applicable
2	non applicable
3	100
4	300
5	1 000
X ^a	spécial
NOTE L'intensité du champ magnétique est exprimée en A/m. 1 A/m correspond à une induction magnétique en espace libre de 1,26 μ T. ^a "X" peut être un niveau supérieur, inférieur ou intermédiaire aux autres niveaux. Le niveau doit être spécifié dans la spécification correspondante de l'équipement.	

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

6 Instrumentation d'essai

6.1 Généralités

Le système d'essai est composé du générateur d'ondes combinées et de la bobine d'induction pour le montage d'essai du matériel de table et, de plus, d'un plan de masse de référence pour le montage d'essai du matériel posé au sol.

6.2 Générateur d'ondes combinées

6.2.1 Généralités

Pour cette application, le générateur d'ondes combinées est utilisé comme source de courant.

NOTE Le générateur d'ondes combinées spécifié dans la présente norme présente des définitions de forme d'onde identiques à celles données dans l'IEC 61000-4-5.

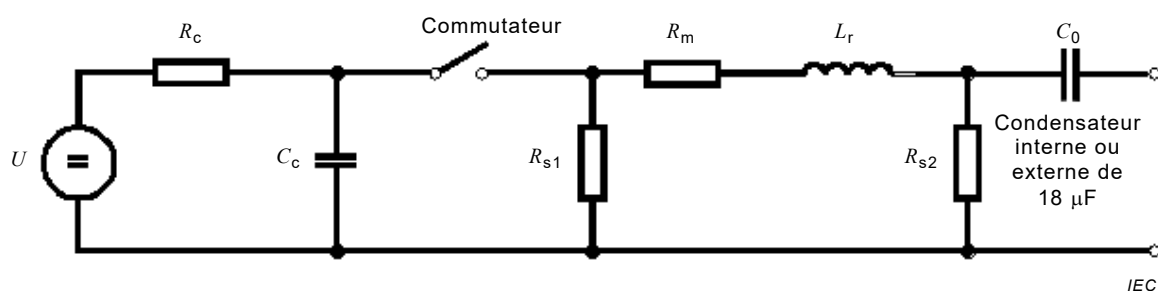
Par conséquent, seule la forme d'onde 8/20 μ s est pertinente. Le générateur d'ondes combinées doit être en mesure de délivrer le courant de choc exigé aux bobines d'induction spécifiées en 6.3.

La forme d'onde est spécifiée comme étant un courant de court-circuit. Par conséquent, elle doit être mesurée sans bobine d'induction connectée.

Ce générateur est destiné à générer une onde de choc présentant:

- une durée du front de courant de court-circuit de 8 μ s;
- une durée de courant de court-circuit de 20 μ s.

Un schéma de circuit simplifié du générateur est donné à la Figure 1. Les valeurs des différents composants R_{S1} , R_{S2} , R_m , L_r et C_c sont choisies de manière à ce que le générateur délivre un courant de choc de 8/20 μ s dans un court-circuit.



Légende

U	Source haute tension
R_c	Résistance de charge
C_c	Condensateur de stockage d'énergie
R_s	Résistance de mise en forme de la durée d'impulsion
R_m	Résistance d'adaptation d'impédance
L_r	Inductance de mise en forme du temps de montée
C_o	Condensateur interne ou externe de 18 μF

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

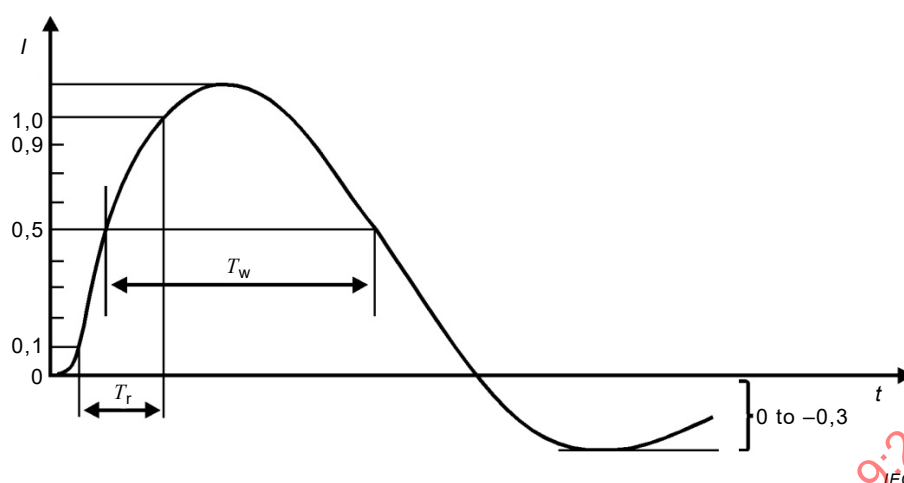
6.2.2 Caractéristiques de performances du générateur

Polarité	positive ou négative
Décalage de phase	dans une gamme de 0° à 360° par rapport à l'angle de phase de la tension d'alimentation en courant alternatif au niveau de l'EUT avec une tolérance de $\pm 10^\circ$
Fréquence de répétition	1 par minute ou plus rapide
Courant de sortie de crête de court-circuit	100 A à 1 000 A ou le niveau d'essai exigé divisé par le facteur de bobine
Forme d'onde du courant de choc	voir le Tableau 2 et la Figure 2
Tolérance du courant de sortie de crête de court-circuit	$\pm 10 \%$

Tableau 2 – Définitions des paramètres de forme d'onde 8/20 μs

	Durée du front T_f μs	Durée T_d μs
Courant de court-circuit	$T_f = 1,25 \times T_r = 8 \pm 20 \%$	$T_d = 1,18 \times T_w = 20 \pm 20 \%$

Un générateur à sortie flottante doit être utilisé.



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

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

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

NOTE 2 La valeur 1,18 est déduite de données empiriques.

**Figure 2 – Forme d'onde du courant de court-circuit (8/20 μs)
à la sortie du générateur avec le condensateur de 18 μF en série**

6.2.3 Etalonnage du générateur

Si un transformateur de courant (sonde) est utilisé pour mesurer le courant de court-circuit, il convient de le choisir de manière à éviter la saturation du noyau magnétique. Il convient que la fréquence de coupure basse (-3 dB) de la sonde soit inférieure à 100 Hz. L'étalonnage doit être effectué avec une sonde de courant et un oscilloscope ou autre instrument de mesure équivalent d'une largeur de bande minimale de 1 MHz. L'étalonnage doit être réalisé pour tous les niveaux d'essai qui sont appliqués pour les essais.

Les caractéristiques du générateur doivent être mesurées à travers d'un condensateur externe de 18 μF en série avec la sortie, dans les conditions de court-circuit. Si le condensateur de 18 μF est monté dans le générateur, aucun condensateur externe de 18 μF n'est exigé pour l'étalonnage.

Toutes les caractéristiques de performance établies en 6.2.2, à l'exception du décalage de phase, doivent être satisfaites à la sortie du générateur.

6.3 Bobine d'induction

6.3.1 Distribution du champ

Pour les deux bobines normalisées à une seule spire de 1 m $\times$ 1 m et de 1 m $\times$ 2,6 m, la distribution du champ est connue et présentée à l'Annexe B. Par conséquent, aucune vérification ni aucun étalonnage du champ ne sont nécessaires, la mesure du courant présentée à la Figure 3 étant suffisante.

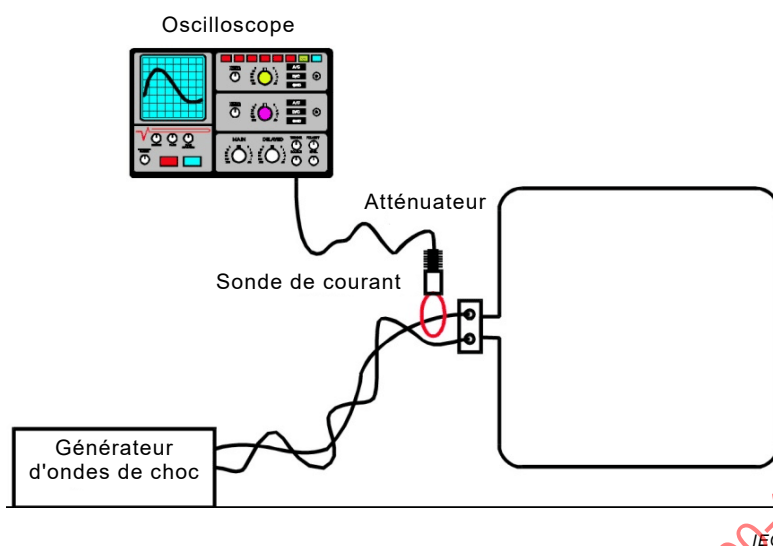


Figure 3 – Exemple de mesure du courant des bobines d'induction normalisées

D'autres bobines de dimensions différentes peuvent être utilisées pour un EUT qui ne s'insère pas dans l'une ou l'autre des deux bobines normalisées. Dans ce cas, la distribution du champ doit être déterminée par mesure ou calcul (voir l'Annexe A).

6.3.2 Caractéristique des bobines d'induction normalisées de 1 m × 1 m et de 1 m × 2,6 m

La bobine d'induction normalisée doit être en cuivre, en aluminium ou tout autre matériau conducteur non magnétique. Sa section et sa conception doivent permettre de lui donner une position stable pendant les essais.

La tolérance des bobines normalisées est de ± 1 cm, mesurée entre les lignes centrales (centre de la section). Les caractéristiques des bobines d'induction en fonction de la distribution du champ magnétique sont données à l'Annexe B.

6.4 Etalonnage du système d'essai

Les caractéristiques essentielles du système d'essai doivent être étalonnées par une mesure du courant (voir la Figure 3).

Le courant de sortie doit être vérifié avec le générateur connecté à la bobine d'induction normalisée spécifiée en 6.2.1 pour tous les niveaux d'essai applicables. Afin de satisfaire aux spécifications données au Tableau 3 et au Tableau 4, un condensateur externe (18 μ F, par exemple) en série peut être exigé. Le condensateur peut être incorporé dans le générateur. La connexion doit être réalisée par des conducteurs torsadés ou un câble coaxial de 3 m de long au maximum et présentant une section adaptée.

Les spécifications suivantes données au Tableau 3 et au Tableau 4 doivent être vérifiées.

Tableau 3 – Spécifications des paramètres temporels de forme d'onde du système d'essai

	Durée du front T_f	Durée T_d
Système utilisant une bobine d'induction normalisée de 1 m × 1 m	$T_f = 1,25 \times T_r = 8 \mu\text{s} \begin{smallmatrix} +2,4 \\ -0,8 \end{smallmatrix} \mu\text{s}$	$T_d = 1,18 \times T_w = 20 \mu\text{s} \begin{smallmatrix} +6 \\ -2 \end{smallmatrix} \mu\text{s}$
Système utilisant une bobine d'induction normalisée de 1 m × 2,6 m	$T_f = 1,25 \times T_r = 8 \mu\text{s} \begin{smallmatrix} +3,2 \\ -0,8 \end{smallmatrix} \mu\text{s}$	$T_d = 1,18 \times T_w = 20 \mu\text{s} \begin{smallmatrix} +8 \\ -2 \end{smallmatrix} \mu\text{s}$

Tableau 4 – Spécifications du courant de crête de forme d'onde du système d'essai

Niveau d'essai	Courant de crête $I \pm 10 \%$ A	
	Système utilisant une bobine d'induction normalisée de 1 m × 1 m	Système utilisant une bobine d'induction normalisée de 1 m × 2,6 m
1	non applicable	non applicable
2	non applicable	non applicable
3	111	152
4	333	453
5	1 111	1 515
X ^a	spécial/0,9	spécial/0,66
NOTE Les valeurs 0,9 et 0,66 sont les facteurs de bobine calculés des bobines d'induction normalisées, tels qu'indiqués en A.2.3 (voir l'Annexe A). ^a "X" peut être un niveau supérieur, inférieur ou intermédiaire aux autres niveaux. Le niveau doit être spécifié dans la spécification correspondante de l'équipement.		

Si un transformateur de courant (sonde) est utilisé pour mesurer le courant de court-circuit, il convient de le choisir de manière à éviter la saturation du noyau magnétique. Il convient que la fréquence de coupure basse (-3 dB) de la sonde soit inférieure à 100 Hz. L'étalonnage doit être effectué avec une sonde de courant et un oscilloscope ou autre instrument de mesure équivalent d'une largeur de bande minimale de 1 MHz.

7 Montage d'essai

7.1 Équipement d'essai

L'équipement suivant fait partie intégrante du montage d'essai:

- équipement en essai (EUT);
- équipement auxiliaire (AE), si exigé;
- câbles (de type et de longueur spécifiés);
- générateur d'ondes combinées (CWG) avec condensateur interne/externe (18 μF , par exemple);
- bobine d'induction;
- plan de masse de référence dans le cas des équipements d'essai posés au sol.

7.2 Vérification de l'instrumentation d'essai

La vérification a pour objet de s'assurer que le montage d'essai fonctionne correctement. Le montage d'essai comprend:

- le générateur d'ondes combinées;
- la bobine d'induction;
- les câbles d'interconnexion de l'équipement d'essai.

Pour vérifier que le système fonctionne correctement, il convient de vérifier le signal suivant:

- impulsion de choc présente aux bornes de la bobine d'induction.

Il est suffisant de vérifier que l'onde de choc est présente à tous les niveaux en utilisant un équipement de mesure adapté (une sonde de courant, un oscilloscope, par exemple).

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

7.3 Montage d'essai pour le champ magnétique impulsionnel appliqué à un EUT de table

Les EUT de table doivent être placés sur une table non conductrice. La bobine d'induction de 1 m × 1 m peut être utilisée pour soumettre à essai les EUT dont les dimensions atteignent 0,6 m × 0,6 m × 0,5 m (L × l × H). La bobine d'induction de 1 m × 2,6 m peut être utilisée pour soumettre à essai les EUT dont les dimensions atteignent 0,6 m × 0,6 m × 2 m (L × l × H).

La bobine d'induction doit être positionnée dans trois orientations orthogonales.

Lorsqu'un EUT ne s'intègre pas dans la bobine d'induction de 1 m × 2,6 m, la méthode de proximité (voir 7.4) peut être utilisée ou des bobines d'induction plus importantes peuvent être construites de manière à correspondre aux dimensions de l'EUT pour une orientation de champ différente du champ magnétique.

NOTE S'il s'avère peu pratique de construire des bobines pour des équipements très volumineux, la méthode de proximité est la seule méthode d'essai adaptée.

L'impact des câbles ne doit pas être optimisé pendant cet essai. La proximité des câbles avec l'antenne-cadre peut avoir un impact sur les résultats, par conséquent, les câbles doivent cheminer de manière à réduire le plus possible cet impact. La dimension de câblage limitée doit être incorporée dans la détermination de la taille maximale de l'EUT qui peut être soumis à essai.

Un plan de masse de référence n'est pas exigé sous l'EUT (voir la Figure 4 ci-dessous). La bobine d'induction doit être placée à au moins 0,5 m des surfaces conductrices (les parois et le plancher d'une enceinte blindée, par exemple).

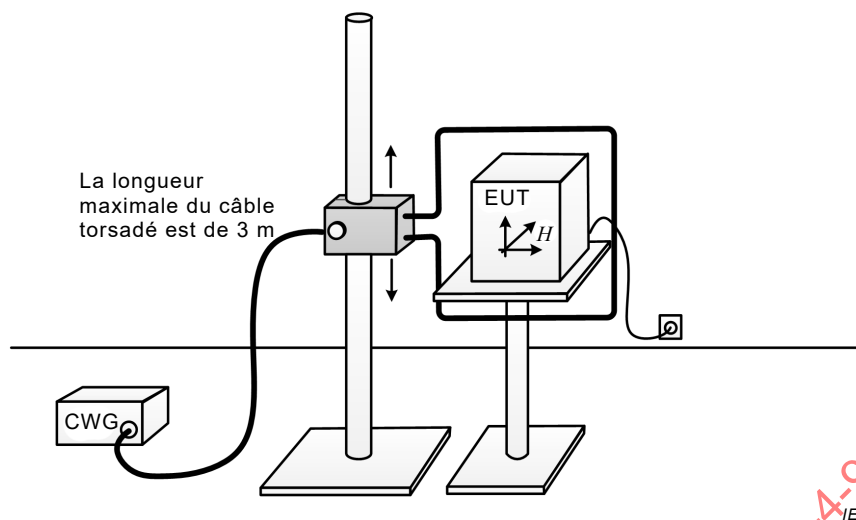


Figure 4 – Exemple de montage d'essai pour équipement de table montrant le plan orthogonal vertical

7.4 Montage d'essai pour le champ magnétique impulsionnel appliqué à un EUT posé au sol

La bobine d'induction de dimensions normalisées pour soumettre à essai l'équipement posé au sol (des baies, par exemple) est de forme rectangulaire de 1 m × 2,6 m, un côté court pouvant être le plan de masse de référence pour les équipements de grande taille. La bobine d'induction de 1 m × 1 m peut être utilisée pour les équipements posés au sol avec des dimensions maximales de 0,6 m × 0,6 m.

Le plan de masse de référence doit présenter une épaisseur minimale de 0,65 mm et une taille minimale de 1 m × 1 m. L'EUT doit être isolé du plan de masse de référence.

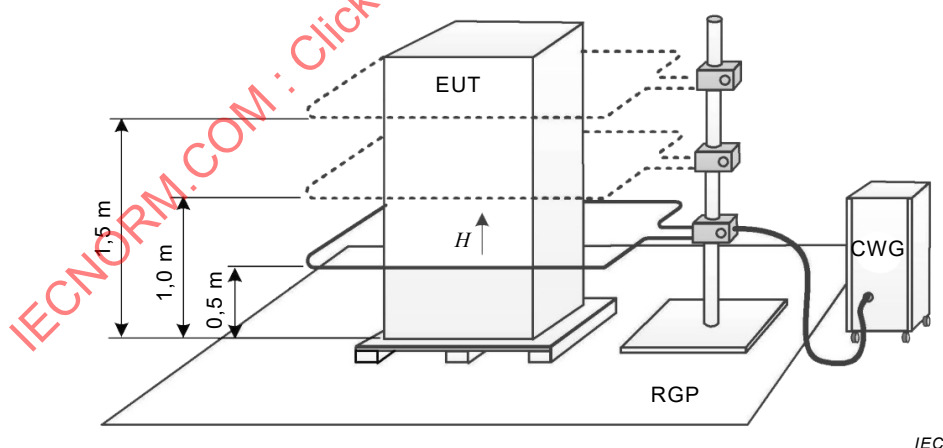


Figure 5 – Exemple de montage d'essai pour équipement posé au sol montrant le plan orthogonal horizontal

Pour les équipements posés au sol (des armoires, par exemple) dans lesquels le haut de l'EUT est à plus de 0,75 m au-dessus du plan de masse de référence, plusieurs positions doivent être soumises à essai. La distance entre les positions doit être de $(0,5 \pm 0,05)$ m. La Figure 5 indique que trois positions doivent être soumises à essai. Dans tous les cas, la bobine d'induction présentée à la Figure 5 ne doit pas être placée à moins de 0,5 m. La Figure 6 présente un exemple d'essai avec un plan orthogonal vertical.

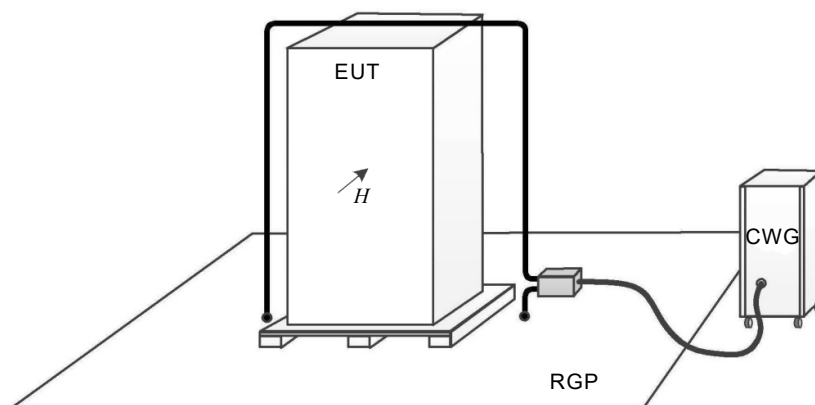


Figure 6 – Exemple de montage d'essai pour équipement posé au sol montrant le plan orthogonal vertical

Le volume d'essai de la bobine rectangulaire est de 0,6 m × 0,6 m × 2 m (L × l × H).

Lorsqu'un EUT ne s'intègre pas dans la bobine rectangulaire de 1 m × 2,6 m, la méthode de proximité (voir la Figure 7 et 7.5 pour des informations détaillées) peut être utilisée ou des bobines d'induction plus importantes peuvent être construites de manière à correspondre aux dimensions de l'EUT pour une orientation de champ différente du champ magnétique (voir l'Annexe A).

S'il s'avère peu pratique de construire des bobines pour des équipements très volumineux, la méthode de proximité est la seule méthode d'essai adaptée. Les comités de produits peuvent choisir la méthode de proximité ou utiliser une bobine adaptée.

L'impact des câbles ne doit pas être optimisé pendant cet essai. La proximité des câbles avec l'antenne-cadre peut avoir un impact sur les résultats, par conséquent, les câbles doivent cheminer de manière à réduire le plus possible cet impact. La dimension de câblage limitée doit être incorporée dans la détermination de la taille maximale de l'EUT qui peut être soumis à essai.

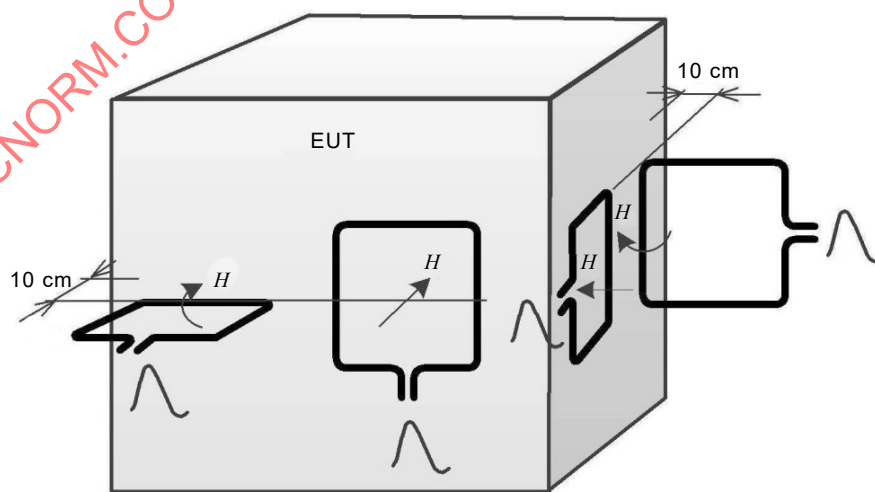


Figure 7 – Exemple de montage d'essai utilisant la méthode de proximité

7.5 Montage d'essai pour le champ magnétique impulsionnel appliqué in situ

Les essais in situ sont en général la seule méthode d'essai pratique pour les machines de grande taille ou équipements similaires. En principe, pendant les essais in situ, un plan de masse de référence n'est pas disponible. Par conséquent, la méthode de proximité peut être la seule méthode d'essai pratique sans plan de masse de référence en place. La Figure 7 donne un exemple de montage d'essai pour les essais in situ. La bobine d'induction normalisée de 1 m × 1 m doit être utilisée lors de l'examen des EUT à l'aide de la méthode de proximité. De plus, la bobine d'induction normalisée doit être isolée de l'EUT. La distance entre la bobine d'induction normalisée et l'EUT doit être de (10 ± 1) cm.

NOTE La distance a été définie afin d'assurer la même intensité du champ que celle présente au centre de la bobine d'induction normalisée.

L'essai de l'équipement de table selon 7.3 peut également être réalisé, mais il ne s'agit pas de la méthode d'essai préférentielle.

8 Procédure d'essai

8.1 Généralités

La procédure d'essai comprend:

- la vérification de l'instrumentation d'essai selon 7.2;
- l'établissement des conditions de référence du laboratoire;
- la confirmation du bon fonctionnement de l'EUT;
- l'exécution de l'essai;
- l'évaluation des résultats d'essai (voir Article 9).

8.2 Conditions de référence du laboratoire

8.2.1 Conditions climatiques

Sauf spécification contraire dans les normes génériques, de famille de produits ou de produit, les conditions climatiques dans le laboratoire doivent être dans les limites spécifiées pour le fonctionnement de l'EUT et de l'équipement d'essai par leurs fabricants respectifs.

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

8.2.2 Conditions électromagnétiques

Les conditions électromagnétiques du laboratoire doivent être de nature à garantir le bon fonctionnement de l'EUT afin de ne pas influencer les résultats de l'essai.

8.3 Exécution de l'essai

La vérification doit être réalisée. Il est préférable de procéder à la vérification avant l'essai (voir 7.2).

L'essai doit être réalisé selon un programme d'essais qui doit spécifier le montage d'essai, y compris:

- le niveau d'essai;
- le nombre d'impulsions (pour chaque orientation orthogonale):
le nombre d'impulsions, sauf spécification contraire dans la norme appropriée:

- pour l'EUT alimenté en courant continu, cinq impulsions positives et cinq impulsions négatives;
- pour l'EUT alimenté en courant alternatif monophasé, 20 impulsions positives et 20 impulsions négatives sans synchronisation de phase;
- pour l'EUT alimenté en courant alternatif triphasé, 20 impulsions positives et 20 impulsions négatives sans synchronisation de phase;
- la fréquence de répétition des impulsions d'au moins une impulsion par minute (les comités de produits peuvent spécifier cette fréquence de répétition);
- les conditions de fonctionnement représentatives de l'EUT;
- trois orientations orthogonales du champ magnétique dans le cas de l'équipement de table;
- trois orientations du champ magnétique dans le cas de l'équipement posé au sol;
- les emplacements de la bobine d'induction par rapport à l'EUT (points d'essai).

Pour la plupart des produits, la synchronisation de phase peut ne pas être appropriée. Par conséquent, il convient que les comités de produits déterminent sa nécessité pour leurs produits.

NOTE 1 L'application des essais avec différents angles de phase peut être plus critique pour les équipements possédant un onduleur.

NOTE 2 Des considérations particulières relatives à la sécurité peuvent s'avérer nécessaires lors de l'utilisation de la sortie du RCD du générateur.

9 Évaluation des résultats d'essais

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

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

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

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

L'équipement ne doit pas devenir dangereux ou non sûr suite à l'application des essais.

10 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit contenir toutes les informations nécessaires pour reproduire l'essai. En particulier, les éléments suivants doivent être consignés:

- les points spécifiés dans le programme d'essais exigé à l'Article 8 de la présente norme;
- l'identification de l'EUT et de tout équipement associé (marque, type de produit, numéro de série, par exemple);
- l'identification de l'équipement d'essai (marque, type de produit, numéro de série, par exemple);
- toutes les conditions ambiantes spéciales dans lesquelles l'essai a été réalisé, par exemple, enceinte blindée;
- toutes les conditions spécifiques nécessaires pour permettre la réalisation de l'essai;
- le niveau de performances défini par le fabricant, le demandeur de l'essai ou l'acheteur;
- le critère de performances spécifié dans la norme générique, de produit ou de famille de produits;
- tous les effets observés sur l'EUT pendant ou après l'application de la perturbation d'essai, et la durée pendant laquelle ces effets ont persisté;
- la justification de la détermination de la réussite/de l'échec (d'après le critère de performances spécifié dans la norme générique, de produit ou de famille de produits, ou dans le cadre d'un accord entre le fabricant et l'acheteur);
- toutes les conditions spécifiques d'utilisation (longueur ou type de câble, blindage ou mise à la terre ou les conditions de fonctionnement de l'EUT, par exemple) qui sont exigées pour assurer la conformité;
- les bobines d'induction choisies pour les essais;
- la position et l'orientation de la bobine d'induction par rapport à l'EUT.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-9:2016

Annexe A **(informative)**

Caractéristiques des bobines d'induction non normalisées

A.1 Généralités

Lorsqu'un EUT ne s'intègre pas dans les bobines d'induction normalisées, soit la méthode de proximité peut être utilisée, soit des bobines d'induction non normalisées peuvent être utilisées. Les bobines d'induction non normalisées sont construites de manière à s'adapter aux dimensions de l'EUT pour les différentes orientations du champ magnétique.

Noter que des bobines d'induction de plus grande taille donnent des résultats répétables, mais il peut ne pas être pratique de construire de telles bobines d'induction. Le fait de pouvoir satisfaire ou non aux exigences en matière de forme d'onde de la bobine de 1 m × 2,6 m détermine les dimensions maximales des bobines d'induction non normalisées. La méthode de proximité peut donner des résultats utiles, mais qui ne sont pas nécessairement reproductibles.

NOTE Compte tenu des dimensions potentiellement importantes des EUT, la forme de section des bobines peut être en "C" ou en "T" afin d'assurer une rigidité mécanique suffisante.

A.2 Détermination du facteur de bobine

A.2.1 Généralités

Le facteur de bobine d'induction doit être déterminé par mesure ou par calcul. Le facteur de bobine est utilisé pour calculer le courant dans la bobine d'induction afin d'obtenir l'intensité du champ magnétique exigée au centre de la bobine d'induction.

A.2.2 Mesure du facteur de bobine

A.2.2.1 Généralités

Afin de comparer les résultats d'essai des différentes bobines, le facteur de bobine d'induction doit être mesuré en condition d'espace libre sans EUT.

Un capteur de champ magnétique de sensibilité adaptée doit être utilisé pour mesurer l'intensité du champ magnétique H générée par la bobine d'induction.

Il convient de placer le capteur de champ au centre de la bobine d'induction et de l'orienter de manière à détecter la valeur maximale du champ. Le courant I dans la bobine d'induction doit être mesuré et ajusté de manière à obtenir une intensité du champ dans la plage de mesures du capteur de champ magnétique. Le facteur de bobine, k_{CF} , est obtenu par l'équation $k_{CF} = H/I$.

A.2.2.2 Mesure du facteur de bobine de l'équipement de table

Il convient de suivre la procédure ci-dessous:

La bobine d'induction doit être positionnée à au moins 1 m des structures conductrices ou magnétiques. Un matériau isolant peut être utilisé pour soutenir la bobine d'induction. La bobine d'induction est raccordée à une source de courant alternatif. La mesure peut être réalisée à n'importe quelle fréquence (50 Hz ou 60 Hz, par exemple).

A.2.2.3 Mesure du facteur de bobine de l'équipement posé au sol

Il convient de suivre la procédure ci-dessous:

Il convient de positionner la bobine d'induction sur le plan de masse de référence, qui peut former un côté de la bobine. Sauf pour le plan de masse de référence, toutes les autres structures conductrices ou magnétiques doivent se trouver à au moins 1 m de la bobine. Un matériau isolant peut être utilisé pour soutenir la bobine d'induction. La bobine d'induction doit être raccordée à une source de courant alternatif. La mesure doit être réalisée à la fréquence industrielle.

A.2.3 Calcul du facteur de bobine

Le facteur de bobine peut être calculé à partir des dimensions géométriques de la bobine d'induction. Pour une bobine d'induction rectangulaire à une seule spire comportant les côtés $a + b$ et c (voir la Figure A.1), le facteur de bobine k_{CF} est donné par

$$k_{CF}(P) = \frac{H(P)}{I} = \frac{1}{4\pi} \left[\frac{4a/c + c/a}{\sqrt{a^2 + (c/2)^2}} + \frac{4b/c + c/b}{\sqrt{b^2 + (c/2)^2}} \right] \quad (\text{A.1})$$

où $H(P)$ est le champ magnétique au point P et I est le courant de la bobine d'induction. L'équation (A.1) est valide, lorsque la plus grande dimension de la section de la bobine d'induction est petite comparée au côté le plus court de la bobine d'induction. Pour une bobine d'induction carrée avec le côté c et si P est au centre de la bobine, alors $a = b = c/2$. Si P est au centre d'une bobine rectangulaire, alors $a = b$. Si le plan de masse de référence est le côté bas de la bobine, alors l'équation (A.1) est encore valide en tenant compte de l'image de la bobine (physique) réelle. Dans ce cas, si P est au centre de la bobine physique, alors la valeur k_{CF} de la bobine formée par la bobine physique associée à son image est donnée par l'équation (A.1) avec $b = 3 \times a$.

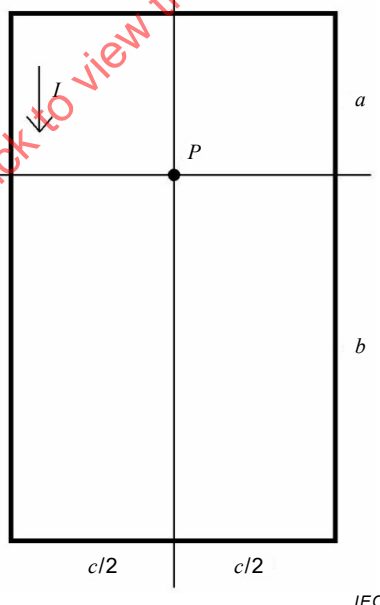


Figure A.1 – Bobine d'induction rectangulaire avec les côtés $a + b$ et c

A.3 Mesure des champs magnétiques

La mesure du champ mentionnée en A.2.2.1 est également applicable pour de grandes bobines d'induction non normalisées. Le champ magnétique peut être mesuré avec un système de mesure composé de capteurs étalonnés (capteurs de boucle "à effet Hall" ou multispire, par exemple) d'un diamètre d'au moins un ordre d'amplitude inférieur à la bobine d'induction et avec un instrument à bande étroite à fréquence industrielle. Le volume maximal

de l'EUT est limité par l'isoligne +3 dB dans le plan x - y et par les isolignes ± 3 dB dans le plan x - z .

A.4 Vérification des bobines d'induction non normalisées

La mesure peut être réalisée en injectant le courant à fréquence industrielle dans la bobine d'induction, puis en mesurant le champ magnétique à l'aide de capteurs placés au centre géométrique de la bobine (voir la Figure A.2).

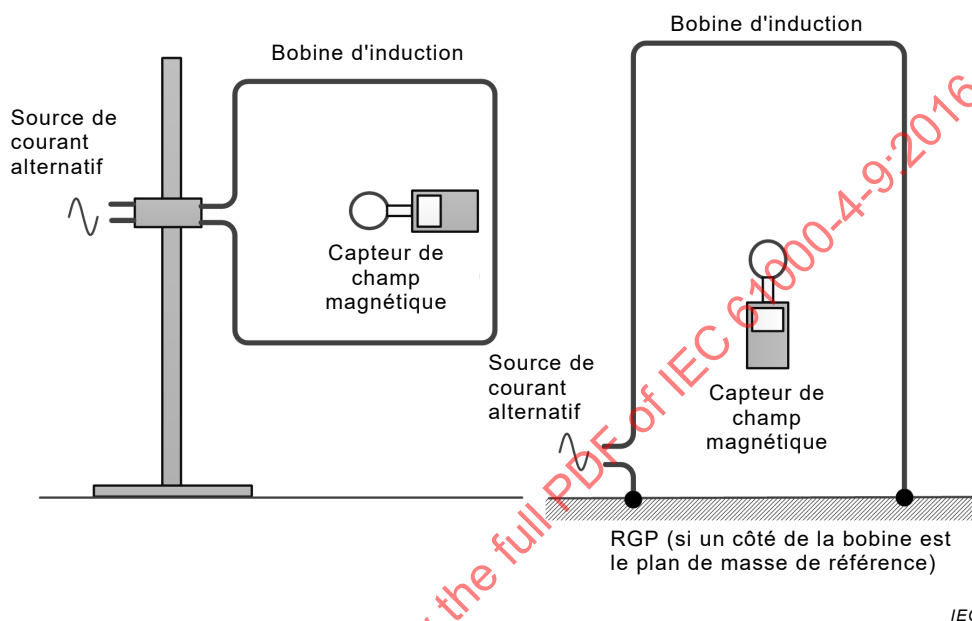


Figure A.2 – Exemple de montage de vérification des bobines d'induction non normalisées

Le facteur de bobine d'induction peut être calculé à partir de l'équation (A.1) si la section la plus grande de la bobine d'induction est au maximum égale à 0,02 du côté le plus court de la bobine.

Si un côté de la bobine est le plan de masse de référence, une source supplémentaire d'incertitude est la taille finie du plan de masse de référence. Cela peut être évalué par l'écart relatif entre les facteurs de bobine calculés en supposant la présence et l'absence d'un plan de masse de référence de taille finie.

Annexe B (informative)

Informations relatives à la distribution du champ des bobines d'induction normalisées

B.1 Généralités

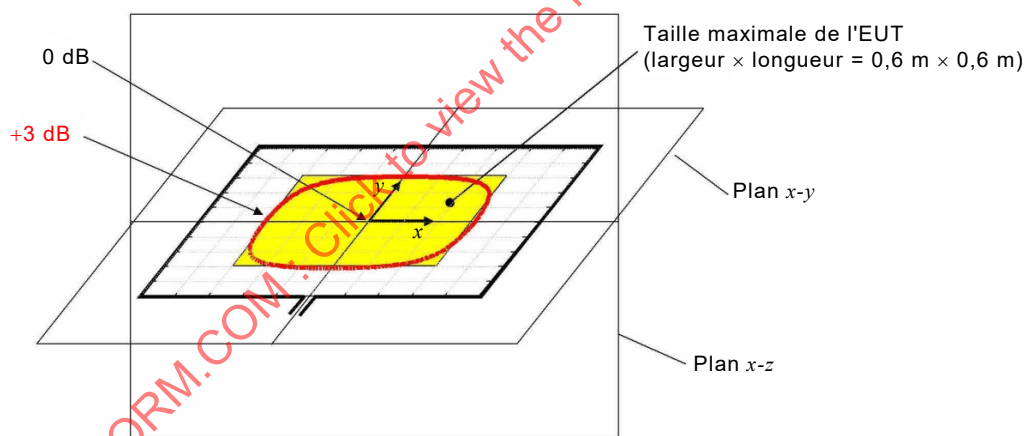
L'Annexe B donne des informations relatives à la taille maximale d'un EUT et à son emplacement dans les bobines d'induction normalisées. Le volume maximal de l'EUT est limité par l'isoligne +3 dB dans le plan x - y et par les isolignes ± 3 dB dans le plan x - z .

L'inductance d'une bobine de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$ normalisée à une seule spire est d'environ $2,5\text{ }\mu\text{H}$, celle de la bobine normalisée de $1\text{ m} \times 2,6\text{ m}$ étant d'environ $6\text{ }\mu\text{H}$.

Pour les calculs du champ, la section finie des conducteurs de boucle est ignorée (approximation de fils fins).

B.2 Bobine d'induction de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$

Les isolignes +3 dB et -3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) sont présentées à la Figure B.1 pour le plan x - y et à la Figure B.2 pour le plan x - z . La taille maximale de l'EUT est la suivante: largeur $\times$ longueur $\times$ hauteur = $0,6\text{ m} \times 0,6\text{ m} \times 0,5\text{ m}$.



IEC

NOTE L'isoligne -3 dB n'est pas montrée car elle se situe en dehors de la boucle.

**Figure B.1 – Isoligne +3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude)
dans le plan x - y pour la bobine d'induction de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$**

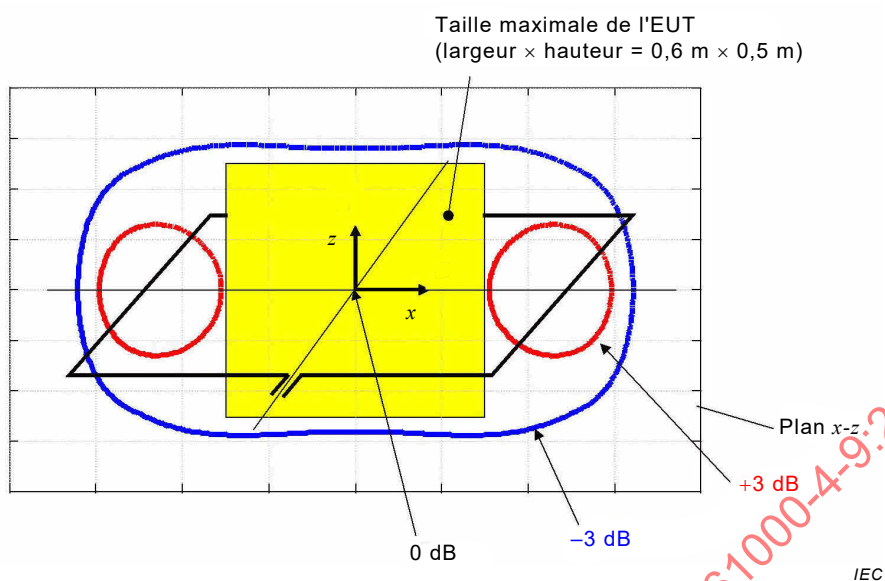
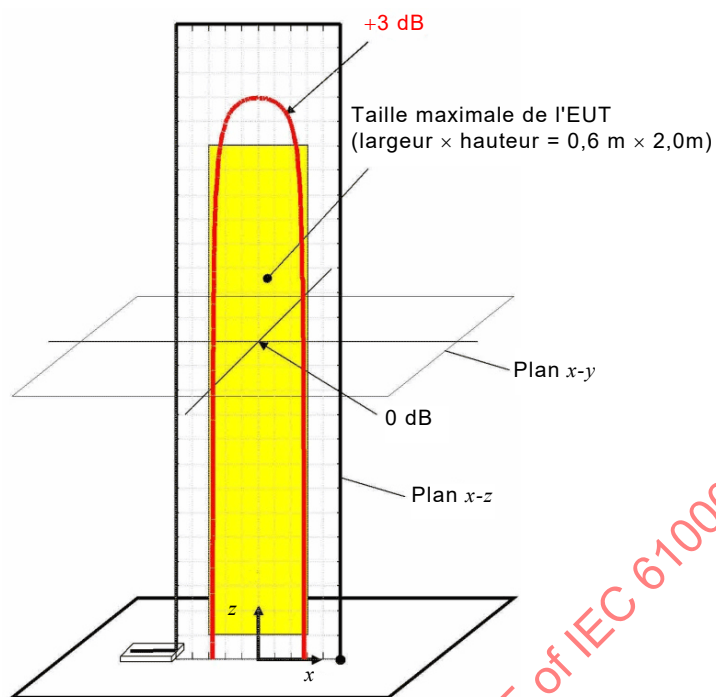


Figure B.2 – Isolignes +3 dB et -3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) dans le plan x-z pour la bobine d'induction de 1 m $\times$ 1 m

B.3 Bobine d'induction de 1 m $\times$ 2,6 m avec plan de masse de référence

Les isolignes +3 dB et -3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) sont présentées à la Figure B.3 pour le plan x-z et à la Figure B.4 pour le plan x-y. La taille maximale de l'EUT est la suivante: largeur $\times$ longueur $\times$ hauteur = 0,6 m $\times$ 0,6 m $\times$ 2 m.

Pour le calcul des isolignes ± 3 dB, la taille du plan de masse de référence est considérée comme étant infinie.



IEC

NOTE L'isoligne -3 dB n'est pas montrée car elle se situe en dehors de la boucle.

Figure B.3 – Isoligne +3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) dans le plan x-z pour la bobine d'induction de 1 m × 2,6 m avec plan de masse de référence

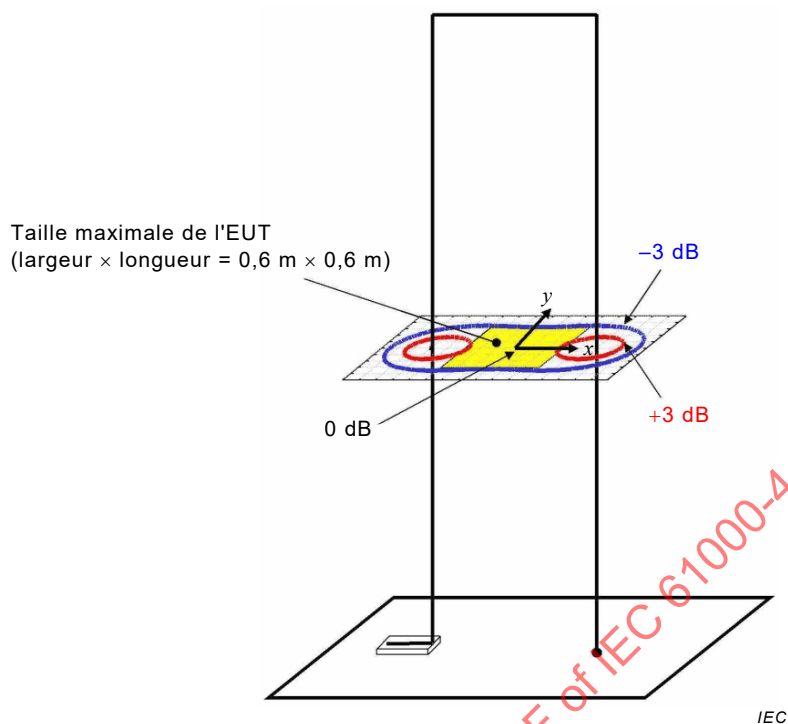
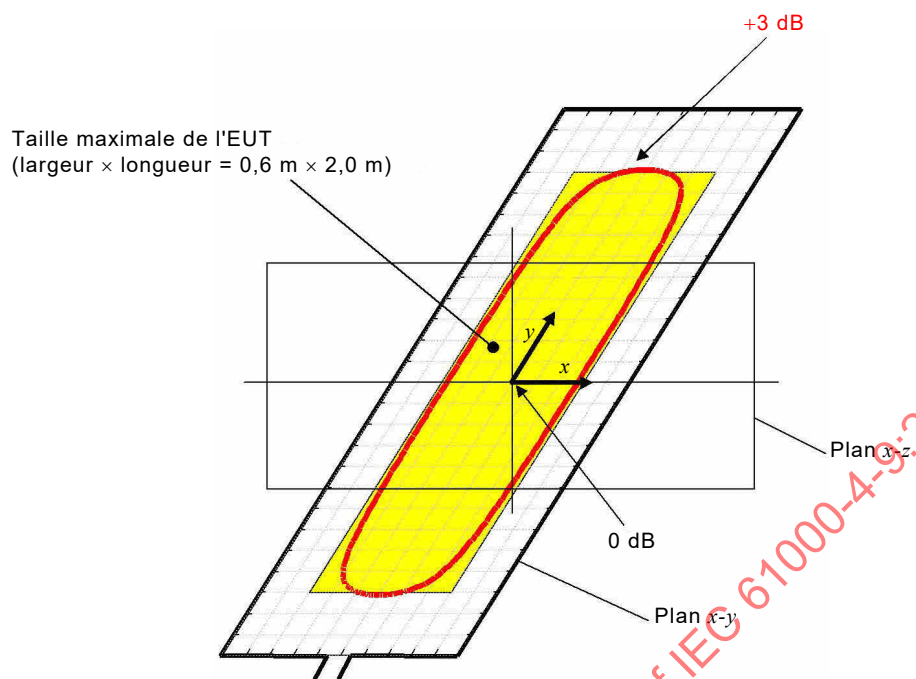


Figure B.4 – Isolignes +3 dB et -3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) dans le plan x - y pour la bobine d'induction de 1 m × 2,6 m avec plan de masse de référence

B.4 Bobine d'induction de 1 m × 2,6 m sans plan de masse de référence

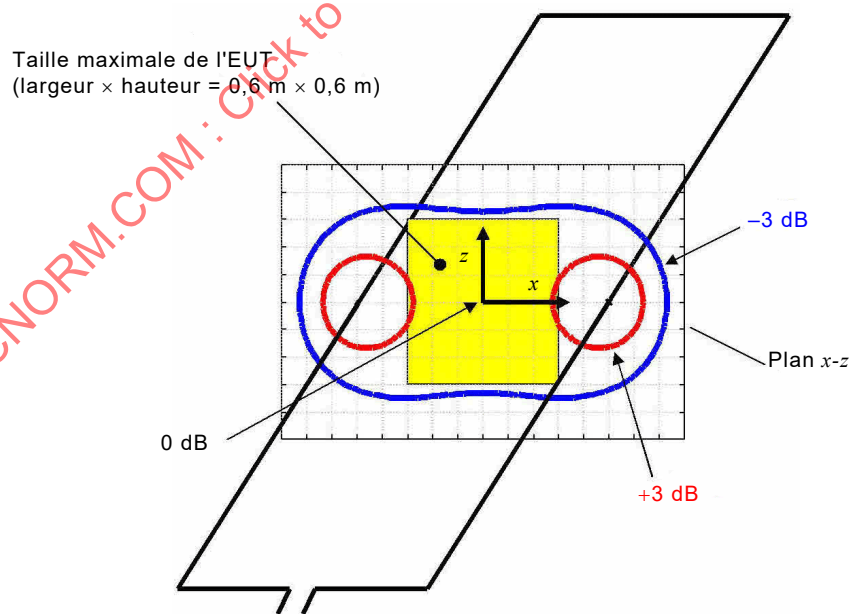
Les isolignes +3 dB et -3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) sont présentées à la Figure B.5 pour le plan x - y et à la Figure B.6 pour le plan x - z . La taille maximale de l'EUT est la suivante: largeur × longueur × hauteur = 0,6 m × 0,6 m × 2 m.



IEC

NOTE L'isoline -3 dB n'est pas montrée car elle se situe en dehors de la boucle.

Figure B.5 – Isoline +3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) dans le plan x - y pour la bobine d'induction de 1 m × 2,6 m sans plan de masse de référence



IEC

Figure B.6 – Isolignes +3 dB et -3 dB pour l'intensité du champ magnétique (amplitude) dans le plan x - z pour la bobine d'induction de 1 m × 2,6 m sans plan de masse de référence

Annexe C (informative)

Choix des niveaux d'essais

Les niveaux d'essai doivent être sélectionnés en fonction de l'environnement électromagnétique dans lequel l'équipement concerné est destiné à être utilisé, en tenant compte des conditions d'installation les plus réalistes.

Les recommandations relatives aux niveaux d'essai sont données à l'Article 5. Il convient que le choix actuel des niveaux d'essai tienne compte

- de l'environnement électromagnétique;
- de l'éventuelle proximité de sources de perturbations de champ magnétique impulsionnel avec l'équipement concerné;
- des conditions d'installation à prévoir en général pour une installation dans l'environnement électromagnétique à l'étude;
- du besoin et de la valeur des marges de compatibilité, c'est-à-dire la marge entre le niveau de perturbations maximal et le niveau d'immunité considéré.

Un niveau d'essai approprié pour l'équipement dépend de l'environnement électromagnétique dans lequel l'équipement est destiné à être utilisé. En s'appuyant sur les pratiques d'installation habituelles, qui sont représentatives de l'environnement électronique concerné, un guide pour le choix des niveaux d'essais pour les champs magnétiques impulsionnels peut être le suivant:

Classe 1: Environnement électromagnétique avec mesures d'atténuation particulières permettant aux phénomènes électromagnétiques de se produire uniquement dans une certaine mesure (le phénomène ne se produit pas, le phénomène se produit seulement avec une amplitude relativement faible, etc.)

Environnement électromagnétique contrôlé: il est prévu d'utiliser des dispositifs sensibles (des microscopes électroniques, des tubes cathodiques, etc.)

L'essai ne s'applique pas aux équipements destinés à être utilisés dans cette classe d'environnement.

Classe 2: Environnement électromagnétique représentatif des zones résidentielles

L'essai ne s'applique pas aux équipements destinés à être utilisés dans cette classe d'environnement, car les emplacements concernés ne sont pas soumis à l'influence des phénomènes de commutation dans les postes moyenne tension et haute tension.

Classe 3: Environnement électromagnétique représentatif des zones d'activité tertiaires/commerciales

Les emplacements de cette classe d'environnement se caractérisent par une éventuelle proximité à des appareillages moyenne et haute tension ou à des conducteurs transportant les transitoires correspondants. Les salles informatiques au voisinage d'un poste peuvent être représentatives de ce type d'emplacement.

Classe 4: Environnement électromagnétique représentatif des zones industrielles

Les emplacements de cette classe d'environnement se caractérisent par la présence de postes moyenne tension ou haute tension et de conducteurs transportant des courants de défaut transitoires. Les salles de commande des postes et des sites contenant des équipements/installations à courant élevé peuvent être représentatives de ces types d'emplacements.

Classe 5: Environnement électromagnétique difficile qui peut se caractériser par les attributs suivants: conducteurs, barres ou lignes MT ou HT. transportant des dizaines de kA

Les postes extérieurs de sites d'industrie lourde, les postes MT/HT et les centrales électriques peuvent être représentatifs des emplacements présentant ce type d'environnement électromagnétique.

Classe X: Environnement électromagnétique particulier

La séparation électromagnétique mineure ou majeure entre les sources d'interférence et les circuits, câbles, lignes, etc., ainsi que la qualité des installations peuvent exiger l'utilisation d'un niveau d'essai supérieur ou inférieur à ceux décrits ci-dessus. Cela peut faire l'objet d'une évaluation au cas par cas.

Il convient de noter que les lignes de l'équipement (câblage, barres, lignes aériennes) associées aux environnements électromagnétiques avec des niveaux d'essai plus élevés peuvent être intégrées dans des emplacements prévus pour des niveaux d'essai inférieurs. Dans ce cas, il convient de réévaluer le dernier emplacement eu égard aux niveaux d'essai pertinents.

Il convient d'utiliser le choix de niveaux d'essai ci-dessus, en termes d'environnements électromagnétiques, à titre indicatif uniquement. Dans certains cas, un emplacement peut être attribué à l'un des types d'environnements électromagnétiques ci-dessus mais, compte tenu des caractéristiques de l'équipement concerné ou d'autres circonstances, un niveau d'essai différent de celui associé à ce type d'environnement électromagnétique peut être plus approprié. Il convient que les parties concernées procèdent à l'évaluation correspondante (les comités de produits, par exemple).

Annexe D (informative)

Considérations relatives à l'incertitude de mesure (MU)

D.1 Généralités

La conformité de la quantité de perturbation réalisée à la quantité de perturbation spécifiée par la présente norme est en général confirmée par un ensemble de mesures (mesure du temps de montée d'un courant de choc avec un oscilloscope à l'aide d'une sonde de courant, par exemple). Le résultat de chaque mesure inclut une certaine incertitude de mesure (MU) compte tenu de l'imperfection de l'instrument de mesure et du manque de répétabilité du mesurande lui-même. L'incertitude de mesure est ici évaluée selon les principes et méthodes décrits dans l'IEC TR 61000-1-6.

L'incertitude de mesure doit être évaluée comme suit:

- a) identifier les sources d'incertitude, liées à l'instrument de mesure et au mesurande,
- b) identifier la relation fonctionnelle (modèle de mesure) entre les grandeurs d'influence (entrée) et la grandeur mesurée (sortie),
- c) obtenir une estimation et une incertitude-type des grandeurs d'entrée,
- d) obtenir une estimation de l'intervalle contenant, selon un niveau élevé de confiance, la valeur vraie du mesurande.

Ces estimations et incertitudes, déduites pour une quantité de perturbation particulière, ne décrivent pas le degré de concordance entre le phénomène électromagnétique simulé, tel que défini dans les normes fondamentales, et le phénomène électromagnétique réel dans le monde, à l'extérieur du laboratoire.

Les effets des paramètres de la quantité de perturbation sur l'EUT étant a priori inconnus et, dans la plupart des cas, l'EUT présentant un comportement non linéaire, une seule estimation et des nombres d'incertitude ne peuvent pas être définis pour la quantité de perturbation. Par conséquent, chacun des paramètres de la quantité de perturbation est accompagné de l'estimation et de l'incertitude correspondantes. Cela donne plusieurs budgets d'incertitude.

D.2 Légende

I_P	Crête du courant de choc injecté dans la bobine
H_P	Crête de l'impulsion de champ magnétique
k_{CF}	Facteur de bobine de la bobine d'induction: $H_P = k_{CF} \times I_P$
T_f	Durée du front du courant et des impulsions de champ magnétique: $T_f = 1,25 T_r$
T_r	Temps de montée du courant et des impulsions de champ magnétique, défini comme étant le temps entre 10 % et 90 % de la valeur de crête
T_w	Largeur du courant et des impulsions de champ magnétique
T_d	Durée du courant et des impulsions de champ magnétique: $T_d = 1,18 T_w$

NOTE La signification et les relations entre les symboles $u(x_i)$, c_i , $u_i(y)$, $u_c(y)$, $U(y)$ et y sont expliquées dans l'IEC TR 61000-1-6.

D.3 Contribueurs à l'incertitude de mesure du courant de choc et du champ magnétique transitoire

La liste ci-dessous présente les contributeurs utilisés pour évaluer les influences de l'instrumentation de mesure et du montage d'essai:

- lecture de la valeur de crête
- lecture du niveau 10 %
- lecture du niveau 90 %
- lecture du niveau 50 %
- largeur de bande du système de mesure
- forme de la réponse impulsionnelle du système de mesure
- erreur de mesure de l'axe horizontal de l'oscilloscope
- erreur de mesure de l'axe vertical de l'oscilloscope
- répétabilité du système de mesure, du mesurande et du montage (type A)
- étalonnage de l'oscilloscope et du système de mesure
- facteur de bobine de la bobine d'induction

D.4 Incertitude du courant de choc et étalonnage du champ magnétique transitoire

D.4.1 Généralités

Dans le cas de l'essai de champ magnétique, les quantités de perturbation sont le courant de choc produit par le générateur d'essai et injecté dans les bornes de la bobine, et le champ magnétique transitoire appliqué à l'EUT. Comme indiqué à l'Article D.1, un budget d'incertitude pour chaque paramètre mesuré de la quantité de perturbation est exigé. Les paramètres de ces quantités de perturbation sont I_P , T_f et T_d , pour le courant de choc, et H_P pour le champ magnétique transitoire. Le champ magnétique généré par la bobine d'induction est censé être proportionnel au courant qui s'écoule dans ses bornes, la constante de proportionnalité étant le facteur de bobine k_{CF} . Par conséquent, la durée du front et la largeur du champ magnétique transitoire sont identiques à celles du courant de choc, la crête du champ magnétique étant obtenue par l'équation $H_P = k_{CF} \times I_P$.

L'approche adoptée ici pour évaluer l'incertitude de mesure d'impulsion est décrite en D.4.6 et D.4.7. Le Tableau D.1, le Tableau D.2 et le Tableau D.3 donnent des exemples de budgets d'incertitude pour les paramètres de choc. Les tableaux incluent les grandeurs d'entrée qui sont considérées comme étant les plus significatives pour ces exemples, les détails (valeurs numériques, type de fonction de densité de probabilité, etc.) de chaque contributeur à l'incertitude de mesure et les résultats des calculs exigés pour déterminer chaque budget d'incertitude.

D.4.2 Durée du front du courant de choc

Le mesurande est la durée du front du courant de choc calculée à l'aide de la relation fonctionnelle

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

où

$$T_{MS} = \frac{\alpha}{B} \quad (D.2)$$

et:

$T_{10\%}$ est la durée à 10 % de l'amplitude de crête

$T_{90\%}$ est la durée à 90 % de l'amplitude de crête

- δR est la correction pour la non-répétabilité
- T_{MS} est le temps de montée de la réponse à un échelon du système de mesure (10 % à 90 %) en μs
- B est la largeur de bande –3 dB du système de mesure en kHz
- α est le coefficient dont la valeur est $(360 \pm 40) \mu s \times kHz$ (B en kHz et T_{MS} en μs)

Tableau D.1 – Exemple de budget d'incertitude pour la durée du front du courant de choc (T_f)

Symbole	Estimation	Unité	Limite d'erreur	Unité	PDF ^a	Diviseur	$u(x_i)$	c_i	Unité	$u_i(y)$	Unité
$T_{10\%}$	0,74	μs	0,005 0	μs	triangulaire	2,45	0,002 0	-1,256 3	1	0,002 6	μs
$T_{90\%}$	7,94	μs	0,005 0	μs	triangulaire	2,45	0,002 0	1,256 3	1	0,002 6	μs
δR	0	μs	0 025	μs	normale ($k=1$)	1,00	0,025 0	1,256 3	1	0,031 4	μs
A	360	μs kHz	40	μs kHz	rectangulaire	1,73	23,094 0	-0,000 3	1/kHz	0,005 8	μs
B	500	kHz	50	kHz	rectangulaire	1,73	28,867 5	0,000 2	$\mu s/kHz$	0,005 3	μs
$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$										0,0325 6	μs
$U(y) = 2 u_c(y)$										0,06	μs
y										8,95	μs

^a Probability density function (fonction de densité de probabilité)

$T_{10\%}$, $T_{90\%}$: est la lecture du temps à 10 % ou 90 % de l'amplitude de crête. La limite d'erreur est obtenue en supposant une fréquence d'échantillonnage de 100 MS/s et une capacité d'interpolation de trace de la portée (fonction de densité de probabilité triangulaire). Si cela n'était pas le cas, il convient de supposer une fonction de densité de probabilité rectangulaire. Seul le contributeur à l'incertitude de mesure due à la fréquence d'échantillonnage est pris en compte ici. Pour les autres contributeurs, voir D.4.5. Les lectures sont, par hypothèse, $T_{10\%} = 0,74 \mu s$ et $T_{90\%} = 7,94 \mu s$.

T_{MS} : est le temps de montée calculé de la réponse à un échelon du système de mesure. Le coefficient α (voir l'Article D.2) dépend de la forme de la réponse impulsionnelle du système de mesure. La plage 360 ± 40 est représentative d'une large classe de systèmes, chacun présentant une forme de réponse impulsionnelle différente (voir D.4.6 et Tableau D.4). La largeur de bande B du système de mesure peut être obtenue de manière expérimentale (mesure directe de la largeur de bande) ou être calculée à partir de la largeur de bande B_i de chaque élément du système de mesure (essentiellement une sonde de courant, un câble et une portée) à l'aide de l'équation suivante:

$$\frac{1}{B} = \sqrt{\left(\frac{1}{B_1}\right)^2 + \left(\frac{1}{B_2}\right)^2 + \dots} \quad (D.3)$$

Une estimation de 500 kHz et une limite d'erreur de 50 kHz d'une fonction de densité de probabilité rectangulaire sont prises comme hypothèse pour B .

δR : est la non-répétabilité du temps de montée de 10 % à 90 %. Elle quantifie le manque de répétabilité de la mesure de $T_{90\%} - T_{10\%}$ due aux instruments de mesure, à la présentation du montage de mesure et au générateur d'onde de choc lui-même. Elle est déterminée de manière expérimentale. Il s'agit d'une évaluation de type A reposant sur la formule de l'écart-type expérimental $s(q_k)$ d'un échantillon de n mesures répétées q_j , et donnée par

$$s(q_k) = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{j=1}^n (q_j - \bar{q})^2} \quad (\text{D.4})$$

où $\bar{q}$ est la moyenne arithmétique des valeurs q_j . Une limite d'erreur $s(q_k) = 25$ ns (1 écart-type d'une fonction de densité de probabilité normale) et une estimation de 0 ns sont prises comme hypothèse.

D.4.3 Crête du courant de choc et du champ magnétique

Le mesurande est la crête du courant de choc injecté dans la bobine et calculé à l'aide de la relation fonctionnelle

$$I_p = \frac{V_{PR}}{R_T} \frac{1 + \delta R + \delta V}{1 - \left(\frac{\beta}{B}\right)^2} \quad (\text{D.5})$$

où

V_{PR} est la lecture de la crête de la tension de choc

R_T est la résistance de transfert du courant de sonde

δR est la correction pour la non-répétabilité

δV est la précision verticale en courant continu de la portée

B est la largeur de bande –3 dB du système de mesure

β est le coefficient dont la valeur est $(14,8 \pm 1,6)$ kHz

Tableau D.2 – Exemple de budget d'incertitude pour la crête du courant de choc (I_p)

Symbole	Estimation	Unité	Limite d'erreur	Unité	PDF ^a	Diviseur	$u(x_i)$	c_i	Unité	$u_i(y)$	Unité
V_{PR}	1,15	V	0,002 2	V	triangulaire	2,45	0,000 92	1 001	1/Ω	0 918	A
R_T	0 001	Ω	0,000 05	Ω	rectangulaire	1,73	0,000 03	-151 · 10 ³	A/Ω	33,23	A
δR	0	1	0,03	1	Normal ($k = 1$)	1,00	0,030 00	1 151	A	34,53	A
δV	0	1	0,02	1	rectangulaire	1,73	0,011 55	1 151	A	13,29	A
B	14,8	kHz	1,6	kHz	rectangulaire	1,73	0,923 76	0 136	A/kHz	0 126	A
B	500	kHz	50	kHz	rectangulaire	1,73	28,867 51	-0,0040	A/kHz	0 117	A
							$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$			0 050	kA
							$U(y) = 2 u_c(y)$			0,10	kA
							y			1,15	kA
							Exprimé en % de 1,15 kA			8,6	%

^a Probability density function (fonction de densité de probabilité)

V_{PR} : est la lecture de crête de tension à la sortie de la sonde de courant. La limite d'erreur est obtenue en partant du principe que la portée présente une résolution verticale de 8 bits avec capacité d'interpolation (fonction de densité de probabilité triangulaire).

R_T : est la résistance de transfert du shunt de courant ou de la sonde de courant. Une valeur estimée de 0,001 Ω et une limite d'erreur de 5 % (fonction de densité de probabilité rectangulaire) sont prises comme hypothèse.