

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC EMC PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Electromagnetic compatibility (EMC) –
Part 4-10: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory magnetic
field immunity test**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-10: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité du champ
magnétique oscillatoire amorti**



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 4-10: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory magnetic
field immunity test**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-10: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité du champ
magnétique oscillatoire amorti**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.100.20

ISBN 978-2-8322-3501-0

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor.

Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.

CONTENTS

FOREWORD.....	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 Abbreviations	10
4 General	10
5 Test levels.....	10
6 Test instrumentation	11
6.1 General.....	11
6.2 Damped oscillatory wave generator	11
6.2.1 General.....	11
6.2.2 Performance characteristics of the generator connected to the standard induction coil	12
6.3 Standard induction coil	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	15
7.3 Test setup for table-top EUT.....	16
7.4 Test setup for floor standing EUT	16
7.5 Test setup for damped oscillatory field applied in-situ	18
8 Test procedure	18
8.1 General.....	18
8.2 Laboratory reference conditions	18
8.2.1 Climatic conditions	18
8.2.2 Electromagnetic conditions	18
8.3 Execution of the test	19
9 Evaluation of test results.....	19
10 Test report.....	20
Annex A (informative) Information on the field distribution of standard induction coils	21
A.1 General.....	21
A.2 Determination of the coil factor	21
A.2.1 General.....	21
A.2.2 Coil factor calculation	21
A.3 1 m × 1 m standard induction coil	22
A.4 1 m × 2,6 m standard induction coil with reference ground plane	23
A.5 1 m × 2,6 m standard induction coil without reference ground plane	24
Annex B (informative) Selection of the test levels	26
Annex C (informative) Damped oscillatory magnetic field frequency	28
Annex D (informative) Measurement uncertainty (MU) considerations	29
D.1 General.....	29
D.2 Legend	29

D.3	Uncertainty contributors to the peak current and to the damped oscillatory magnetic field measurement uncertainty	29
D.4	Uncertainty of peak current and damped oscillatory magnetic field calibration	30
D.4.1	General.....	30
D.4.2	Peak current	30
D.4.3	Further MU contributions to amplitude and time measurements	32
D.4.4	Rise time of the step response and bandwidth of the frequency response of the measuring system	32
D.4.5	Impulse peak distortion due to the limited bandwidth of the measuring system.....	33
D.5	Application of uncertainties in the damped oscillatory wave generator compliance criterion	34
Annex E (informative)	3D numerical simulations	35
E.1	General.....	35
E.2	Simulations	35
E.3	Comments	35
Bibliography		41
Figure 1	– Simplified schematic circuit of the test generator for damped oscillatory magnetic field	12
Figure 2	– Waveform of short-circuit current in the standard coils	13
Figure 3	– Waveform of short-circuit current showing the repetition time T_{rep}	13
Figure 4	– Example of a current measurement of standard induction coils	14
Figure 5	– Example of test setup for table-top equipment.....	16
Figure 6	– Example of test setup for floor standing equipment showing the horizontal orthogonal plane.....	17
Figure 7	– Example of test setup for floor standing equipment showing the vertical orthogonal plane.....	17
Figure 8	– Example of test setup using the proximity method	18
Figure A.1	– Rectangular induction coil with sides $a + b$ and c	22
Figure A.2	– +3 dB isoline for the magnetic field strength (magnitude) in the x - y plane for the 1 m $\times$ 1 m induction coil	22
Figure A.3	– +3 dB and –3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) in the x - z plane for the 1 m $\times$ 1 m induction coil	23
Figure A.4	– +3 dB isoline for the magnetic field strength (magnitude) in the x - z plane for the 1 m $\times$ 2,6 m induction coil with reference ground plane	23
Figure A.5	– +3 dB and –3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) in the x - y plane for the 1 m $\times$ 2,6 m induction coil with reference ground plane	24
Figure A.6	– +3 dB isoline for the magnetic field strength (magnitude) in the x - y plane for the 1 m $\times$ 2,6 m induction coil without reference ground plane	24
Figure A.7	– +3 dB and –3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) in the x - z plane for the 1 m $\times$ 2,6 m induction coil without reference ground plane	25
Figure E.1	– Current with period of 1 μ s and H-field in the center of the 1 m $\times$ 1 m standard induction coil	36
Figure E.2	– H_x -field along the side of 1 m $\times$ 1 m standard induction coil in A/m	36
Figure E.3	– H_x -field in direction x perpendicular to the plane of the 1 m $\times$ 1 m standard induction coil	37
Figure E.4	– H_x -field along the side in dB for 1 m $\times$ 1 m standard induction coil	37

Figure E.5 – H_x -field along the diagonal in dB for the 1 m × 1 m standard induction coil.....	38
Figure E.6 – H_x -field plot on y - z plane for the 1 m × 1 m standard induction coil.....	38
Figure E.7 – H_x -field plot on x - y plane for the 1 m × 1 m standard induction coil	39
Figure E.8 – H_x -field along the vertical middle line in dB for the 1 m × 2,6 m standard induction coil	39
Figure E.9 – H_x -field 2D-plot on y - z plane for the 1 m × 2,6 m standard induction coil.....	40
Figure E.10 – H_x -field 2D-plot on x - y plane at $z = 0,5$ m for the 1 m × 2,6 m standard induction coil	40
Table 1 – Test levels.....	11
Table 2 – Peak current specifications of the test system	15
Table 3 – Waveform specifications of the test system	15
Table D.1 – Example of uncertainty budget for the peak of the damped oscillatory current impulse (I_p)	31
Table D.2 – α factor (see equation (D.6)) of different unidirectional impulse responses corresponding to the same bandwidth of the system B	33
Table D.3 – β factor (equation (D.12)) of the damped oscillatory waveform.....	34

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 4-10: Testing and measurement techniques –
Damped oscillatory 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 61000-4-10 has been prepared by subcommittee 77B: High frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

It forms Part 4-10 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 A on induction coil field distribution;
- b) new Annex D on measurement uncertainty;

- c) new Annex E for numerical simulations;
- d) calibration using current measurement has been addressed in this edition.

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

CDV	Report on voting
77B/730/CDV	77B/746A/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 "damped oscillatory magnetic field".

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 4-10: Testing and measurement techniques – Damped oscillatory 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 damped oscillatory magnetic disturbances related to medium voltage and high voltage sub-stations.

The test defined in this standard is applied to equipment which is intended to be installed in locations where the phenomenon as specified in Clause 4 will be encountered.

This standard does not specify disturbances due to capacitive or inductive coupling in cables or other parts of the field installation. IEC 61000-4-18, which deals with conducted disturbances, covers these aspects.

The object of this standard is to establish a common and reproducible basis for evaluating the performance of electrical and electronic equipment for medium voltage and high voltage sub-stations when subjected to damped oscillatory magnetic fields.

The test is mainly applicable to electronic equipment to be installed in H.V. sub-stations. Power plants, switchgear installations, smart grid systems may also be applicable to this standard and may be considered by product committees.

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.

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

damped oscillatory wave generator

generator delivering a damped oscillation whose frequency can be set to 100 kHz or 1 MHz and whose damping time constant is five periods

3.1.3

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]

3.1.4

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

3.1.5

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.

3.1.6

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

3.1.7

reference ground

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

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

3.1.8

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.

3.1.9

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]

3.1.10

verification

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

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

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

3.2 Abbreviations

AE	Auxiliary equipment
EMC	Electromagnetic compatibility
EUT	Equipment under test
MU	Measurement uncertainty
PE	Protective earth
RGP	Reference ground plane

4 General

Damped oscillatory magnetic fields are generated by the switching of H.V. bus-bars by isolators or disconnectors. The magnetic fields to which equipment is subjected can influence the reliable operation of equipment and systems.

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

The wave shape of the test field corresponds to a damped oscillatory wave (see Figure 2). The characteristics are given in 6.2.2.

Information on the oscillation frequency is given in Annex C.

5 Test levels

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

Table 1 – Test levels

Level	Damped oscillatory magnetic field strength
	A/m (peak)
1	not applicable
2	not applicable
3	10
4	30
5	100
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 μT. ^a "X" can be any level, above, below or in between the others. This level, as well the duration of the test, 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 B.

6 Test instrumentation

6.1 General

The test system comprises the damped oscillatory 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 Damped oscillatory wave generator

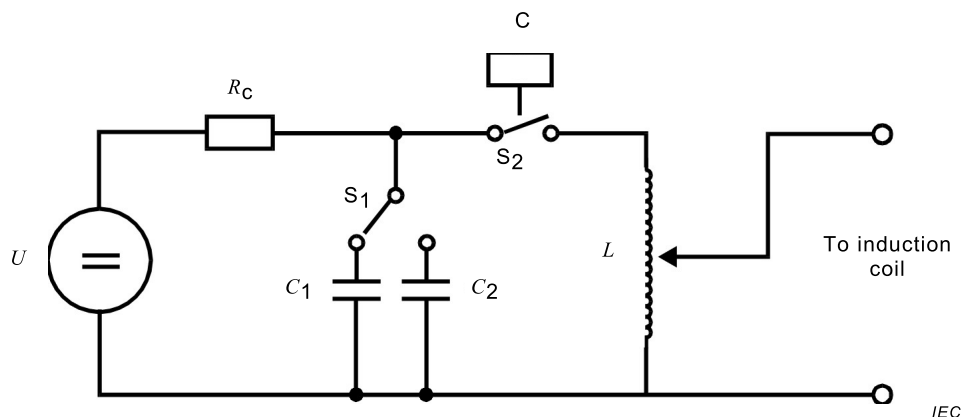
6.2.1 General

The damped oscillatory wave generator shall be able to deliver the required impulse current to the induction coils specified in 6.3.

NOTE For this application, a modified version of a damped oscillatory wave generator similar to the generator mentioned in IEC 61000-4-18 is used as a current source.

The waveform is specified as a short-circuit current and therefore shall be measured with the induction coil connected.

A simplified circuit diagram of the generator is given in Figure 1.



U :	High voltage source	R_C :	Charging resistor
C :	Control duration	L :	Coil oscillation circuit
S_1	Frequency selector	S_2	Duration selector
C_1, C_2 : Capacitors oscillation circuit (switchable from 0,1 MHz to 1 MHz)			

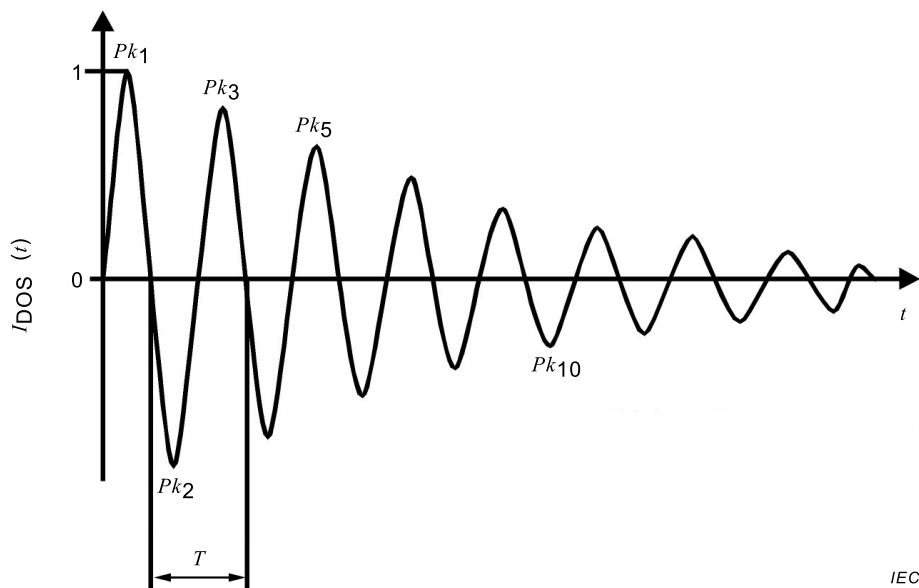
Figure 1 – Simplified schematic circuit of the test generator for damped oscillatory magnetic field

6.2.2 Performance characteristics of the generator connected to the standard induction coil

The performance characteristics below are applicable for the generator connected to the standard induction coils outlined in 6.3.

Oscillation period	see Table 3
Current in the coils (Pk_1 value)	see Table 2
Waveform of the damped oscillatory magnetic field	see Figure 2
Decay rate D_{r1}, D_{r2}	Pk_5 shall be > 50 % of the Pk_1 value and Pk_{10} shall be < 50 % of the Pk_1 value
Repetition rate $1/T_{rep}$ (see Figure 3)	40/s $\pm$ 10 % for 100 kHz and 400/s $\pm$ 10 % for 1 MHz
Test duration	not less than 2 s
Phase shifting	no requirement

Oscillation frequency is defined as the reciprocal of the period of the first and third zero crossings after the initial peak. This period is shown as T in Figure 2.

**Key**

$T = 1 \mu\text{s}$ (1 MHz) or $10 \mu\text{s}$ (0,1 MHz)

Figure 2 – Waveform of short-circuit current in the standard coils

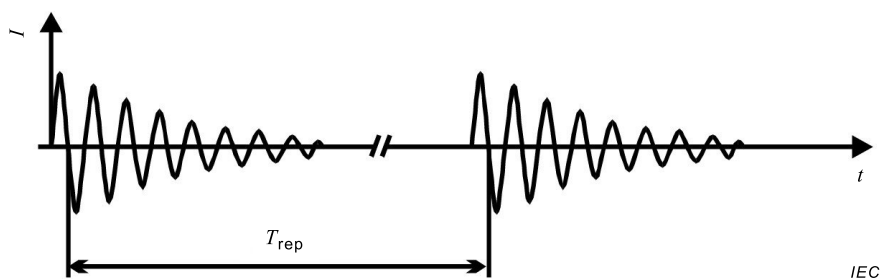


Figure 3 – Waveform of short-circuit current showing the repetition time T_{rep}

The formula of the ideal waveform of Figure 2, $I_{\text{DOS}}(t)$, is as follows:

$$I_{\text{DOS}}(t) = K_i \frac{i_1}{KH} \left(\frac{\left(\frac{t}{t_{1h}} \right)^{nh}}{1 + \left(\frac{t}{t_{1h}} \right)^{nh} e^{\frac{t}{t_{2h}}}} \right) \sin(\beta t)$$

with

$$KH = e^{-\frac{t_{1h}}{t_{2h}} \left(\frac{t_{2h}}{t_{1h}} \right)^{\frac{1}{nh}}}$$

where the parameters for oscillation period $T = 1 \mu\text{s}$ are:

$$K_i = 1; i_1 = 0,963; t_{1h} = 0,08 \mu\text{s}; t_{2h} = 4,8 \mu\text{s}; nh = 2,1; \beta = 6,27 \times 10^6 \text{ rad/s};$$

and the parameters for the oscillation period $T = 10 \mu\text{s}$ are:

$$K_i = 1; i_1 = 0,963; t_{1h} = 0,8 \mu\text{s}; t_{2h} = 48 \mu\text{s}; nh = 2,1; \beta = 0,627 \times 10^6 \text{ rad/s};$$

6.3 Standard induction coil

For the two single-turn standard coils of 1 m x 1 m and 1 m x 2,6 m, the field distribution is known and shown in Annex A. Therefore, no field verification or field calibration is necessary; the current measurement as shown in Figure 4 is sufficient.

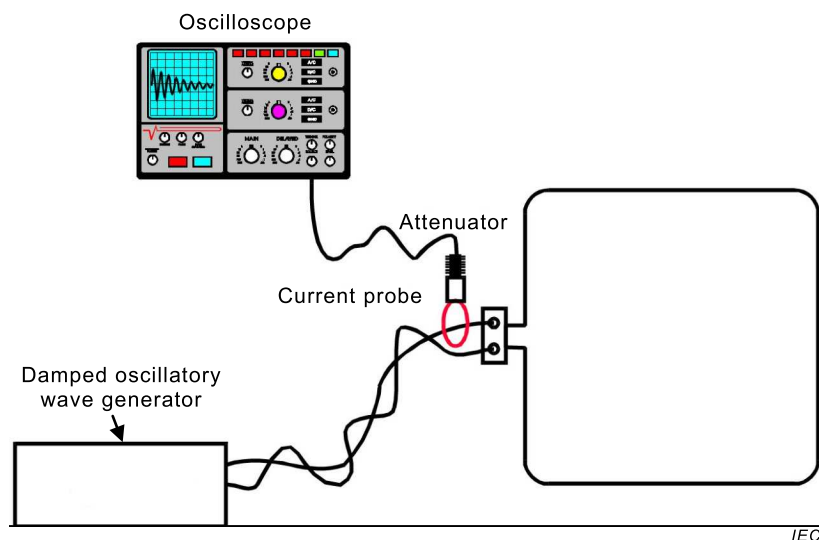


Figure 4 – Example of a current measurement of standard induction coils

The 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 characteristics of induction coils with respect to the magnetic field distribution are given in Annex A.

6.4 Calibration of the test system

The essential characteristics of the test system shall be calibrated by a current measurement (see Figure 4).

The output current shall be verified with the generator connected to the standard induction coil specified in 6.3. The connection shall be realized by twisted conductors or a coaxial cable of up to 3 m length and a suitable cross-section.

The specifications given in Table 3 are not applicable for calibrations performed at test level 5 with the 1 m x 2,6 m standard induction coil connected. In this case, the calibration shall be performed by only using the 1 m x 1 m standard induction coil.

The following specifications given in Table 2 and Table 3 shall be verified.

Table 2 – Peak current specifications of the test system

Test level	Peak current $I \pm 20\%$ 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	11,1	15,2
4	33,3	45,5
5	111	see note 2
X	special/0,9	special/0,66
NOTE 1 The values 0,9 and 0,66 are the calculated coil factors of standard induction coils.		
NOTE 2 The calculated value is 152; however, there is currently no commercial generator available.		

Table 3 – Waveform specifications of the test system

Calibration items	Oscillation frequency	
	100 kHz	1 MHz
Oscillation period	$T = 10 \mu\text{s} \pm 1 \mu\text{s}$	$T = 1 \mu\text{s} \pm 0,1 \mu\text{s}$
Repetition time of the pulses	$T_{\text{rep}} = 25 \text{ ms} \pm 2,5 \text{ ms}$	$T_{\text{rep}} = 2,5 \text{ ms} \pm 0,25 \text{ ms}$
Decay rate of one pulse	$D_{r1} = I(PK_5) \div I(PK_1) > 50\%$	$D_{r1} = I(PK_5) \div I(PK_1) > 50\%$
	$D_{r2} = I(PK_{10}) \div I(PK_1) < 50\%$	$D_{r2} = I(PK_{10}) \div I(PK_1) < 50\%$

The calibrations shall be performed at all levels which are used by laboratories.

The calibrations shall be carried out with a current probe and oscilloscope or other equivalent measurement instrumentation with a 10 MHz minimum bandwidth.

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);
- damped oscillatory wave generator;
- standard induction coil;
- RGP 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 damped oscillatory 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:

- impulse present at the standard induction coil terminals.

It is sufficient to verify that the impulse 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 table-top EUT

Table-top EUTs shall be placed on a non-conductive table. The 1 m × 1 m standard 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 standard 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 x 2,6 m, the proximity method (see 7.4) shall be applied.

It is not necessary to maximize the impact of cables during this test. The proximity of the cables to the induction coil 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 an EUT that can be tested.

An RGP is not required below the EUT (see Figure 5 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.

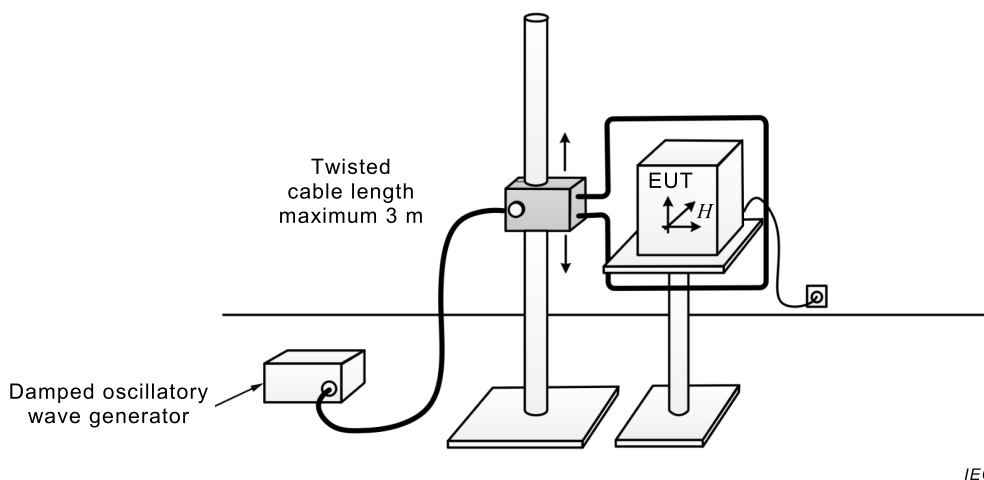


Figure 5 – Example of test setup for table-top equipment

7.4 Test setup for floor standing EUT

The standard induction coil for testing floor standing equipment (e.g. racks) has a rectangular shape of 1 m × 2,6 m where one short side may be the RGP for large sized equipment (see Figure 7). 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.

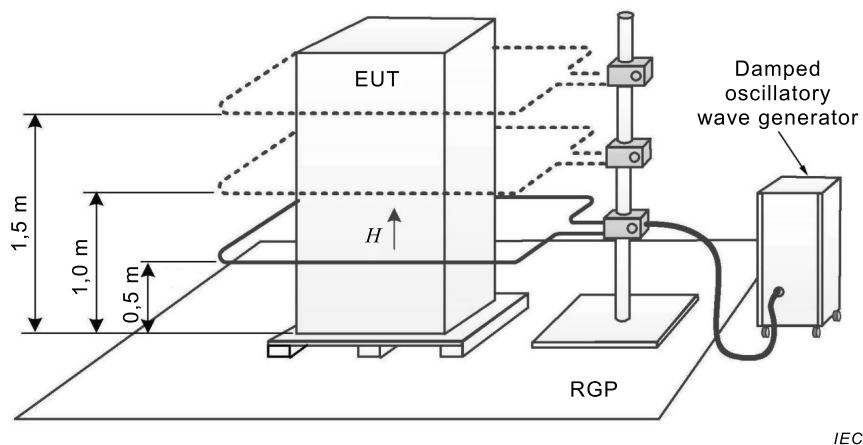


Figure 6 – Example of test setup for floor standing equipment showing the horizontal orthogonal plane

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. In any case, the induction coil shown in Figure 6 shall not be placed below 0,5 m. Figure 7 shows an example for testing with a vertical orthogonal plane.

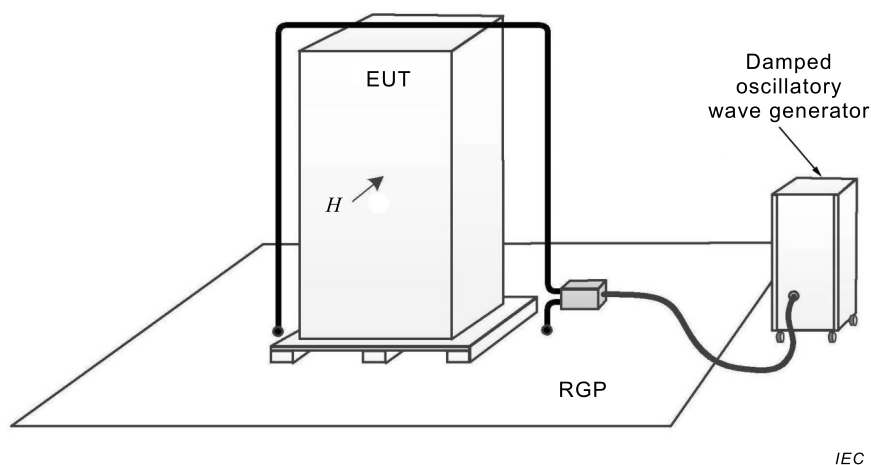


Figure 7 – Example of test setup for floor standing equipment showing the vertical orthogonal plane

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, the proximity method (see Figure 8 and 7.5 for more detailed information) shall be applied.

It is not necessary to maximize the impact of cables during this test. The proximity of the cables to the induction coil 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 the EUT that can be tested.

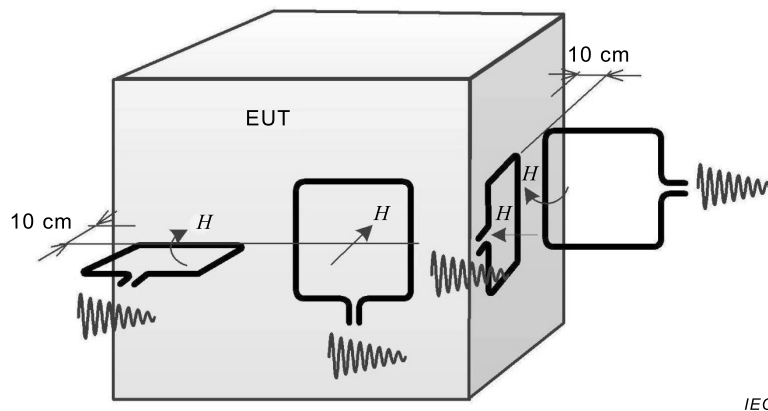


Figure 8 – Example of test setup using the proximity method

7.5 Test setup for damped oscillatory 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 is the only practical test method without the RGP in place. Figure 8 gives an example for a test setup for in-situ testing. The 1 m × 1 m standard induction coil should be used when examining EUTs using the proximity method. Further, 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 center of the standard induction coil.

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;
- test duration (not less than 2 s);
- oscillation frequencies;
- representative operating conditions of the EUT;
- orientations of the field;
- number of test points;
- locations of the standard induction coil relative to the EUT (test points);
- selection and justification of test points (recommended are areas of EUT susceptible to damped oscillatory magnetic fields).

Testing and calibration shall be performed based on the waveform specified in Figure 2 and Figure 3.

NOTE Product committees can apply longer test durations, if appropriate for their products.

The test duration shall be applied only one time for each orientation.

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 8.3;
- 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;
- the performance level defined by the manufacturer, requestor or purchaser;
- the 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.

Annex A (informative)

Information on the field distribution of standard induction coils

A.1 General

Annex A gives information on the maximum size of an EUT and its location in the standard induction coils. The field is considered sufficiently uniform if the magnitude of the magnetic field strength is within ± 3 dB of the field strength in the centre of the induction coil.

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

A.2 Determination of the coil factor

A.2.1 General

The induction coil factor should be determined by 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 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 conductor 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 $b = 3 \times a$.

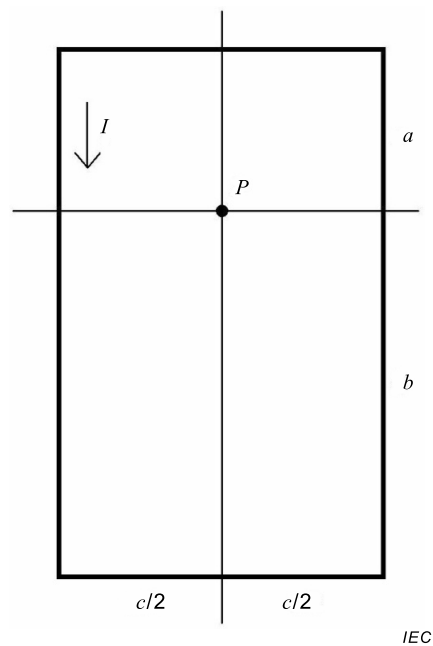
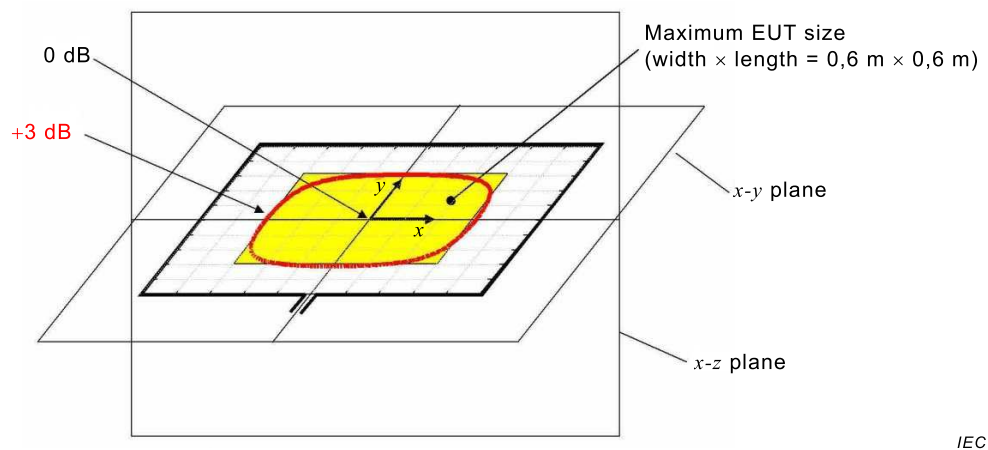


Figure A.1 – Rectangular induction coil with sides $a + b$ and c

A.3 1 m × 1 m standard induction coil

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



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

Figure A.2 – +3 dB isoline for the magnetic field strength (magnitude) in the x - y plane for the 1 m × 1 m induction coil

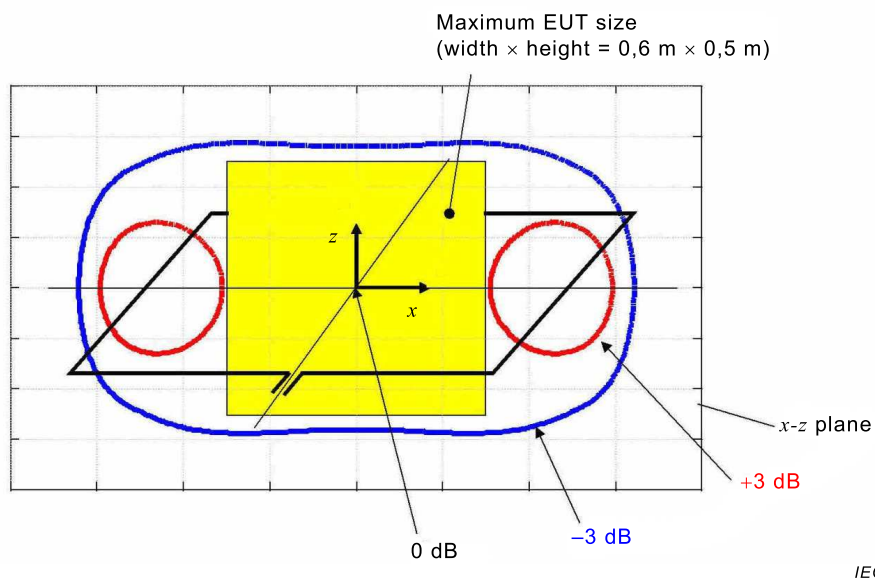
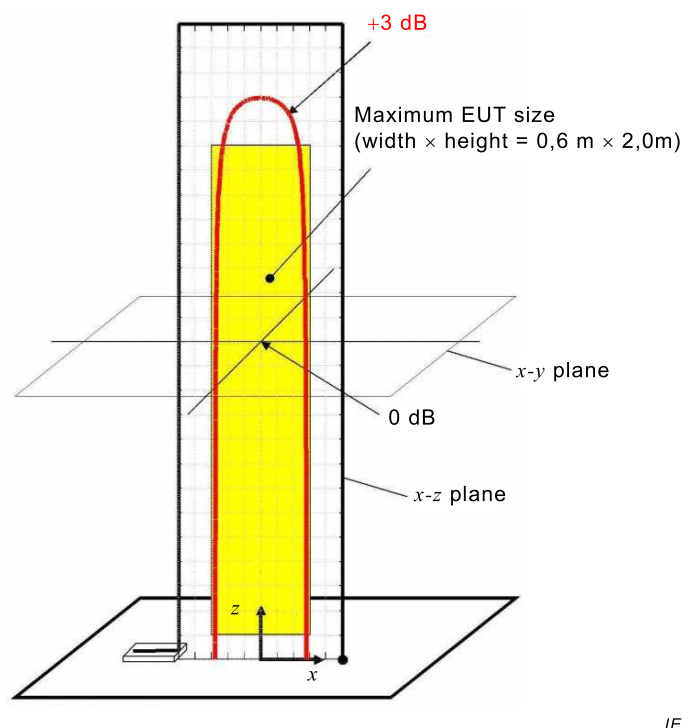


Figure A.3 – +3 dB and –3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) in the x - z plane for the 1 m $\times$ 1 m induction coil

A.4 1 m $\times$ 2,6 m standard induction coil with reference ground plane

The +3 dB and -3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) are shown in Figure A.4 for the x - z plane and in Figure A.5 for the x - y plane. The maximum EUT size is width $\times$ length $\times$ height = 0,6 m $\times$ 0,6 m $\times$ 2 m.

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



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

Figure A.4 – +3 dB isoline for the magnetic field strength (magnitude) in the x - z plane for the 1 m $\times$ 2,6 m induction coil with reference ground plane

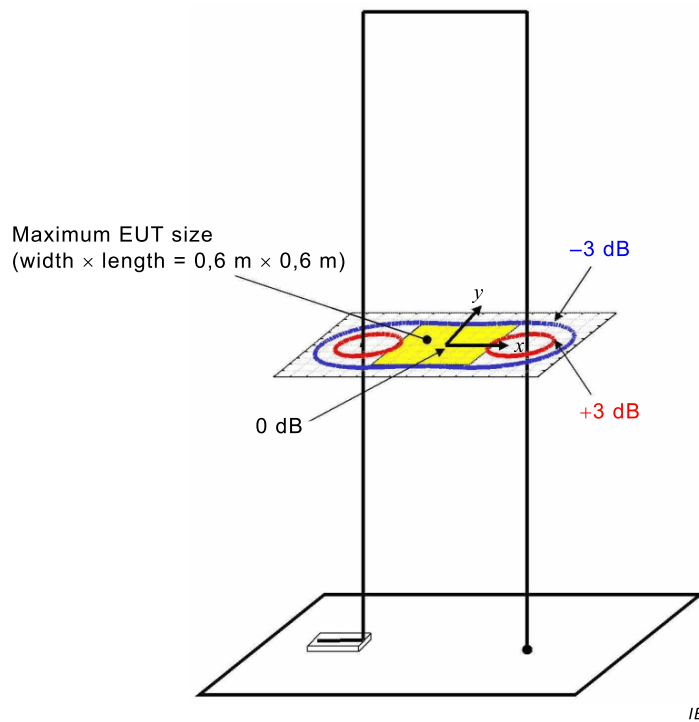
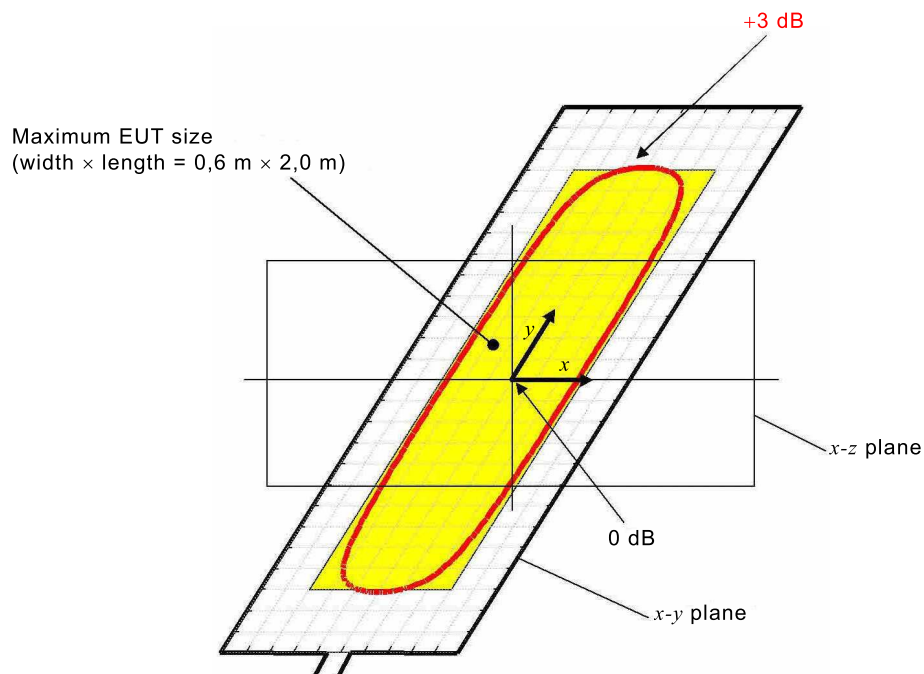


Figure A.5 – +3 dB and –3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) in the x - y plane for the 1 m $\times$ 2,6 m induction coil with reference ground plane

A.5 1 m $\times$ 2,6 m standard induction coil without reference ground plane

The +3 dB and –3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) are shown in Figure A.6 for the x - y plane and in Figure A.7 for the x - z plane. The maximum EUT size is width $\times$ length $\times$ height = 0,6 m $\times$ 0,6 m $\times$ 2 m.



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

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

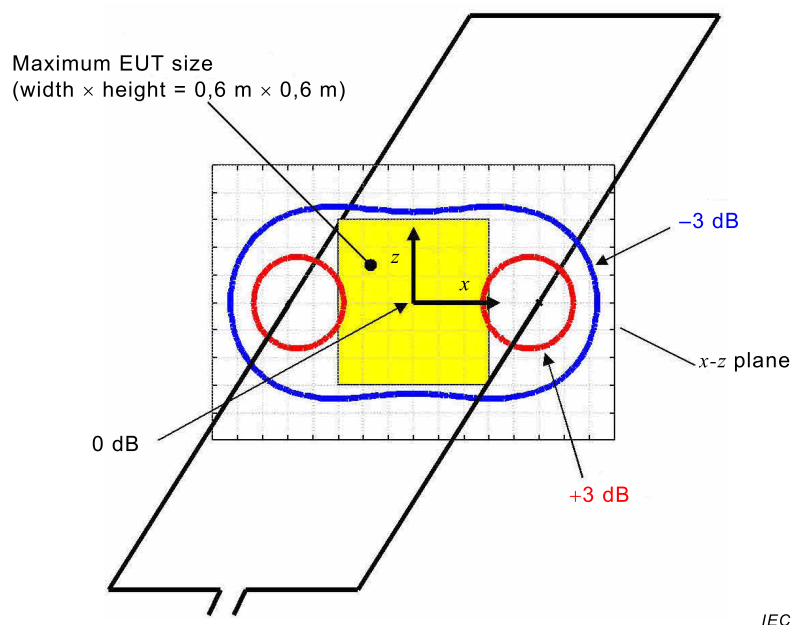


Figure A.7 – +3 dB and –3 dB isolines for the magnetic field strength (magnitude) in the x - z plane for the 1 m x 2,6 m induction coil without reference ground plane

Annex B (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 damped oscillatory 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 damped oscillatory 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- 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- 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).

Annex C

(informative)

Damped oscillatory magnetic field frequency

The phenomenon is typical of the switching of isolators in H.V. sub-stations, and particularly in H.V. bus-bars.

The opening and closing operation of H.V. isolators gives rise to sharp front-wave transients, with time of the order of tens of ns. These phenomena are smoothed by the overall capacitance of the structures of H.V. equipment as they propagate.

The voltage front-wave has an evolution that includes reflections due to the mismatching of the characteristic impedance of the H.V. circuits involved. In this respect, the resulting transient voltage and current in H.V. bus-bars are characterized by a fundamental oscillation frequency that depends on the length of the circuit and on the propagation time.

The transient current peak value that generates the magnetic fields defined in this standard is directly related to the peak voltage on the bus-bars and their characteristic impedance; the voltage is about twice the phase peak value of the H.V. system, and the current (determined also by the characteristic impedance of such circuits) is about 2 kA peak.

The frequency of oscillation is determined by the length of the H.V. and by the self-inductance of H.V. circuits (1 $\mu\text{H/m}$), the series capacity of the circuit-breaker in the off-state (500 pF), the concentrated capacity of capacitive voltage transformers (some nF), of current transformers (300 pF) and of H.V. supports (20 pF each).

The oscillation frequency ranges from about 100 kHz to a few MHz depending on the influence of the parameter mentioned and the length of the bus-bars, which may vary from tens of meters to hundreds of meters (400 m may occur).

In this respect the oscillation frequency of 1 MHz may be considered representative of most situations, but 100 kHz has been considered appropriate for big H.V. sub-stations.

The repetition frequency is variable and, provided the other conditions are the same, is a function of the distance between the switching contacts: that is, with closed contacts, there is the maximum repetition frequency, while for distances between the contacts at the limit of extinction of the arc, the minimum repetition frequency in respect of each phase is twice the power frequency (100/s for 50 Hz and 120/s for 60 Hz H.V. systems), but at these frequencies the maximum magnetic field strength occurs.

The repetition rates selected for the 0,1 MHz and 1 MHz test fields represent therefore a compromise, taking into account the different durations of the phenomena, the representativity of the different frequencies and the problems related to the power of the test generator.

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 peak of a damped oscillatory 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.

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

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

Since the effect of the parameters of the disturbance quantity on the EUT is a priori unknown and in most cases the EUT shows a nonlinear behaviour, 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 damped oscillatory current impulse injected into the coil
 H_P Peak of the magnetic field impulse
 k_{CF} Coil factor of the induction coil: $H_P = k_{CF} \times I_P$

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 peak current and to the damped oscillatory 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
- 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 peak current and damped oscillatory magnetic field calibration

D.4.1 General

In the case of the magnetic field test, the disturbance quantities are the damped oscillatory current generated by the test generator and injected into the coil terminals and the damped oscillatory 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 for the impulse current and H_P for the impulse 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 impulse magnetic field has the same waveshape as the impulse current and the peak of the magnetic field is obtained as $H_P = k_{CF} \times I_P$.

Additional parameters characterize the disturbance, i.e. the frequency of oscillation and damping. However the evaluation of the measurement uncertainty of these parameters, although required, is less demanding than that of impulse peak. Therefore attention is focused here on measurement uncertainty of the peak of the impulse.

The approach adopted here to evaluate the impulse MU is described in D.4.4 and D.4.5. Table D.1 gives an example of the uncertainty budget for the peak current impulse. The table includes the input quantities that are considered most significant for this example, the details (numerical values, type of probability density function, etc.) of each contributor to MU and the results of the calculations required for determining the uncertainty budget.

D.4.2 Peak current

The measurand is the peak of the damped oscillatory current impulse calculated by using the functional relationship

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

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 $(63,8 \pm 7,1)$ kHz at the oscillation frequency $f_0 = 0,1$ MHz and (638 ± 71) kHz at the oscillation frequency $f_0 = 1$ MHz |

The damped oscillatory current impulse oscillation frequency $f_0 = 1$ MHz is assumed for the following example of uncertainty budget.

Table D.1 – Example of uncertainty budget for the peak of the damped oscillatory current impulse (I_p)

Symbol	Estimate	Unit	Error bound	Unit	PDF ^a	Divisor	$u(x_i)$	c_i	Unit	$u_i(y)$	Unit
V_{PR}	0,115	V	0,000 2	V	triangular	2,45	0,000 09	1 004	1/Ω	0,092	A
R_T	0,001	Ω	0,000 05	Ω	rectangular	1,73	0,000 03	11 5470	A/Ω	3,33	A
δR	0	1	0,03	1	normal ($k=1$)	1,00	0,030	115,5	A	3,46	A
δV	0	1	0,02	1	rectangular	1,73	0,011 6	115,5	A	1,33	A
β	638	kHz	71	kHz	rectangular	1,73	40,99	0,001 48	A/kHz	0,061	A
B	10 000	kHz	1 000	kHz	rectangular	1,73	577,4	-0,000 09	A/kHz	0,054	A
$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$										4,99	A
$U(y) = 2 u_c(y)$										9,98	A
Y										115	A
Expressed in % of 115 A										8,6	%

^a Probability density function

V_{PR} : is the voltage peak reading at the output of a current probe or across a current shunt. The error bound is obtained assuming that the scope has an 8-bit vertical resolution with interpolation capability (triangular probability density function). If the interpolation capability is not available or not active, then the rectangular probability density function is used.

R_T : is the transfer impedance (or sensitivity) 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. 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

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

where $\bar{q}$ is the arithmetic mean of the q_j values. δR is expressed in relative terms, and an estimate of 0 % and an error bound of 3 % (1 standard deviation) are assumed.

δV : quantifies the amplitude measurement inaccuracy of the scope at d.c. δV is expressed in relative terms. 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.4.5). The interval (638 ± 71) kHz is representative of a wide class of systems, each having a different shape of the impulse response.

B : 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 or shunt, 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 10 MHz and a 1 MHz error bound of a rectangular probability density function are assumed for B .

NOTE The uncertainty of the peak of the magnetic field impulse is obtained from the functional relationship $H_P = k_{CF} \times I_P$ where k_{CF} is the coil factor as measured through the calibration procedure described in this standard (i.e. at power frequency). Therefore, if the measured k_{CF} is 0,90 (e.g. in the case of a square induction loop whose side is 1 m) and its expanded uncertainty is 5 % then the best estimate of H_P is 104 A/m and its expanded uncertainty is 9,9 % (see Table D.1)

D.4.3 Further MU contributions to amplitude and time measurements

The following contributions may also have an impact on the MU budget:

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.

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.

D.4.4 Rise time of the step response and bandwidth of the frequency response of the measuring system

Let T_{MS} be the rise time of the step response of the measuring system as defined by equation (D.4)

$$T_{MS} = \sqrt{2\pi \int_0^{\infty} (t - T_s)^2 h_0(t) dt} \quad (\text{D.4})$$

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

$$T_s = \int_0^{\infty} t h_0(t) dt \quad (\text{D.5})$$

Equation (D.4) 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 time definition is usually adopted. Given the –3 dB bandwidth of the system the two definitions lead to comparable rise times. Indeed, if we define

$$\alpha = T_{MS} \cdot B \quad (D.6)$$

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.2. It is evident from Table D.2 that it is not possible to identify a unique value of α since α depends both on the adopted definition of the rise time (e.g. based on thresholds or on equation (D.4)) 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.2, that is 360×10^{-3} . Further, it can be assumed that, if no information is available about the measuring system apart from its bandwidth, any value of α between 321×10^{-3} and 399×10^{-3} is equally probable. Differently stated, α is assumed to be a random variable having a rectangular probability density function with lower and upper bounds 321×10^{-3} and 399×10^{-3} , respectively. The standard uncertainty of α quantifies both: a) the indifference to the mathematical model adopted for the definition of the rise-time, and b) the indifference to the shape of the impulse response of the system.

Table D.2 – α factor (see equation (D.6)) of different unidirectional impulse responses corresponding to the same bandwidth of the system B

Values of α are multiplied by 10^3	Gaussian	I order	II order (crit. damp.)	Rectangular	Triangular
α , using equation (D.4)	332	399	363	321	326
α , 10 % to 90 %	339	350	344	354	353

D.4.5 Impulse peak 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

$$V_{out}(t) = \int_0^t V_{in}(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau \quad (D.7)$$

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 about the time instant t_p when the input reaches its peak value V_p

$$V_{in}(t) = V_p + \frac{V_{in}''(t_p)}{2} \cdot (t - t_p)^2 + \frac{V_{in}'''(t_p)}{6} \cdot (t - t_p)^3 + \dots \quad (D.8)$$

Note that the first order term is missing from equation D.8 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.8 into equation D.7 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

$$V_{pd} = \frac{V_p}{A} \left[1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2 \right] \quad (D.9)$$

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

$$\beta = \alpha \cdot \sqrt{\frac{|V_{in}''(t_p)|}{4\pi V_p}} \quad (D.10)$$

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.4.4. A simple mathematical expression for the standard damped oscillatory waveform, useful for uncertainty calculation, is given by

$$V_{in}(t) = V_p e^{-\omega_0 \zeta \left[t - \frac{\pi}{2\omega_0} \right]} \sin(\omega_0 t) \quad (D.11)$$

where $f_0 = \omega_0/(2\pi)$ is the oscillation frequency and ζ is the damping. The value of β can be analytically derived from equations (D.10) and (D.11) as

$$b \gg \alpha \sqrt{\pi} f_0 \quad (D.12)$$

The value of β , as obtained from equation (D.12), is reported in Table D.3.

Table D.3 – β factor (equation (D.12)) of the damped oscillatory waveform

kHz	$f_0 = 0,1 \text{ MHz}$	$f_0 = 1 \text{ MHz}$
β	$63,8 \pm 7,1$	638 ± 71

NOTE 1 Equation (D.12) is an approximation because the exponential decay about the instant $t = t_p$ is neglected.

NOTE 2 The values of β obtained by using equation (D.12) and reported in Table D.3 do not appreciably differ from the ones obtained through computation from the mathematical waveform defined in this standard.

NOTE 3 Damping ζ can be obtained by measuring the ratio $\rho > 1$ between the amplitude of one maximum (or minimum) of the oscillation and the next one. It is given by equation (D.11).

$$\zeta = \frac{1}{2\pi} \ln \rho \quad (D.13)$$

For a compliant waveform, ζ is in the range 0,02 to 0,04.

D.5 Application of uncertainties in the damped oscillatory wave generator compliance criterion

Generally, in order to be confident that the current and the magnetic field oscillatory transients 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)

3D numerical simulations

E.1 General

In Annex E 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 A (static results).

E.2 Simulations

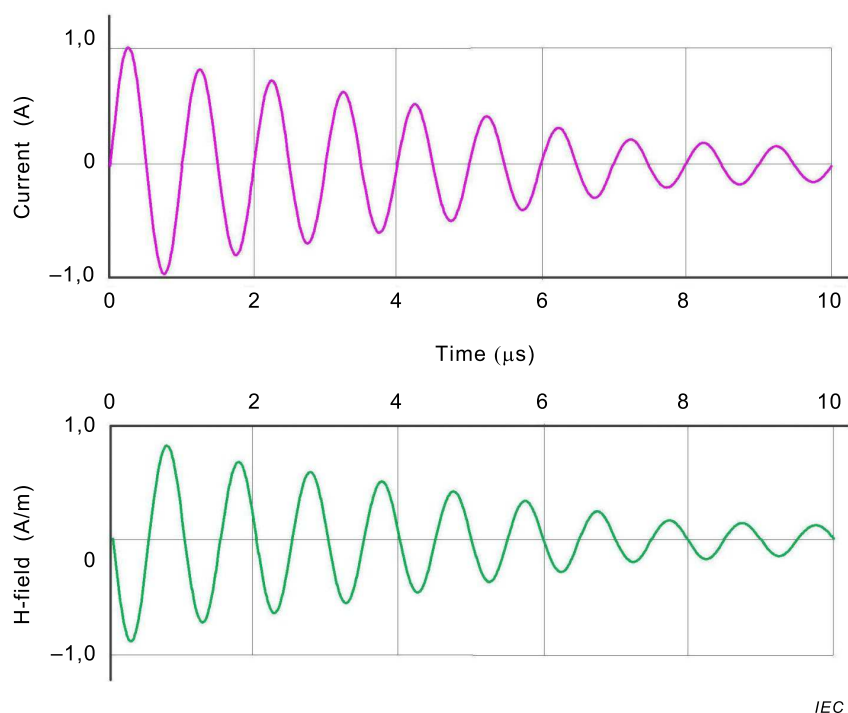
The simulations of Figures E.1 to E.10 are performed as follows:

- The coils are excited by an ideal current source (see the symbol "port") having the mathematical waveform as defined in the text of this standard and normalized at 1 A.
- Two extreme shape conductors of the coil are considered: rectangular of size 10 cm × 1 cm (reported in Annex E) and 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 Figures E.2 and E.3; for the 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.

E.3 Comments

From the simulations, the following considerations arise:

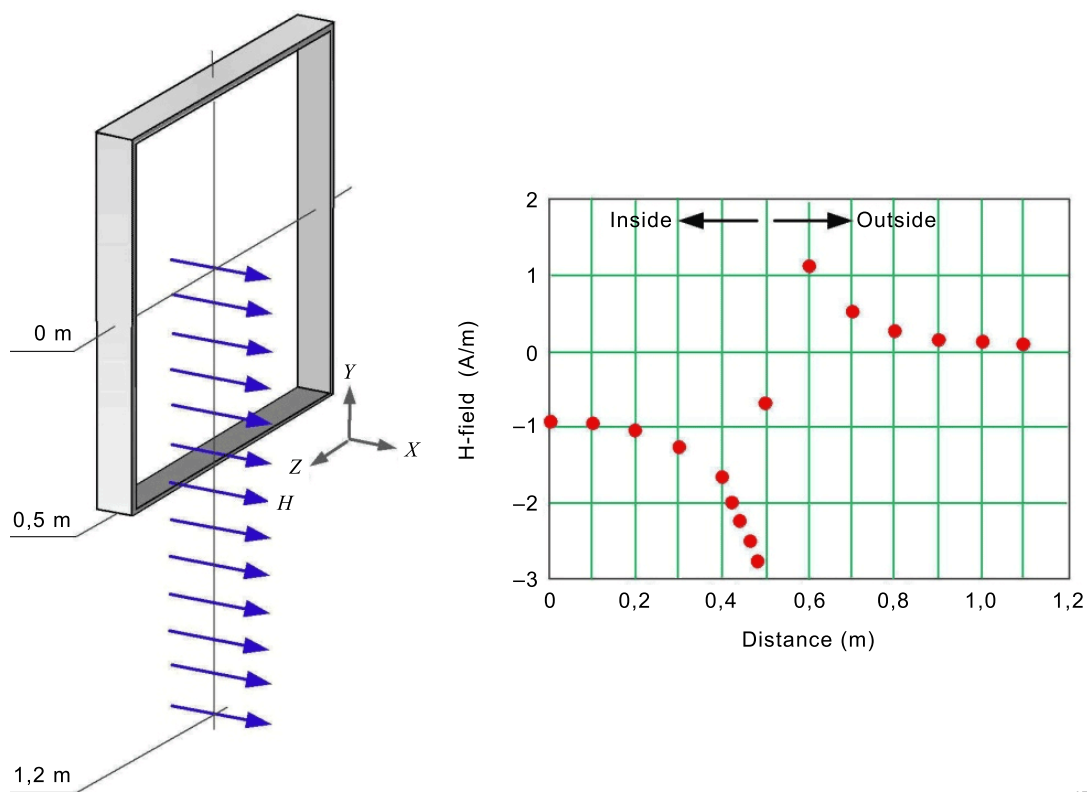
- The computed H-field waveform has the same shape as that of the coil current source.
- Very little difference can be noted when comparing computed H-field waveforms with two extreme conductor shapes for the same coil size.
- In the centre of the coils, the induction coil factors are 0,90 m⁻¹ and 0,65 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 A.
- 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 center of the loop. This should be taken into account when carrying out the proximity test method.



IEC

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

Figure E.1 – Current with period of 1 μ s and H-field in the center of the 1 m $\times$ 1 m standard induction coil



IEC

Figure E.2 – H_x -field along the side of 1 m $\times$ 1 m standard induction coil in A/m

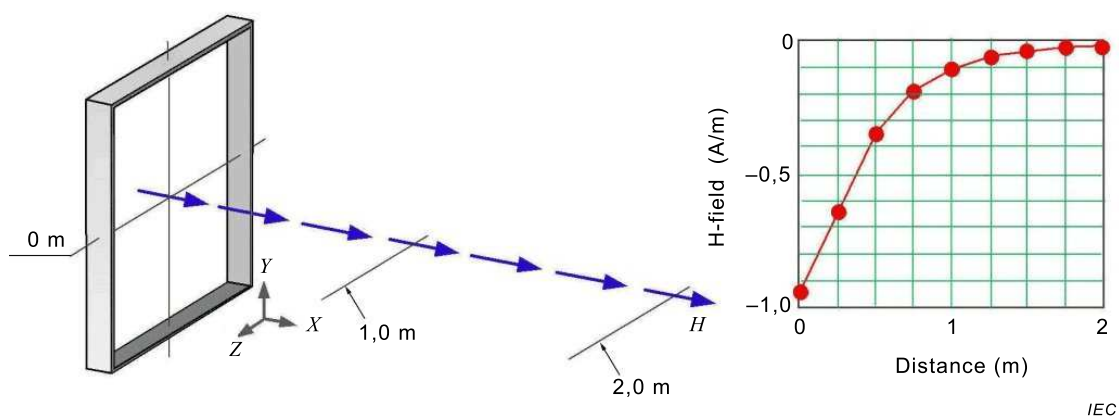


Figure E.3 – H_x -field in direction x perpendicular to the plane of the 1 m $\times$ 1 m standard induction coil

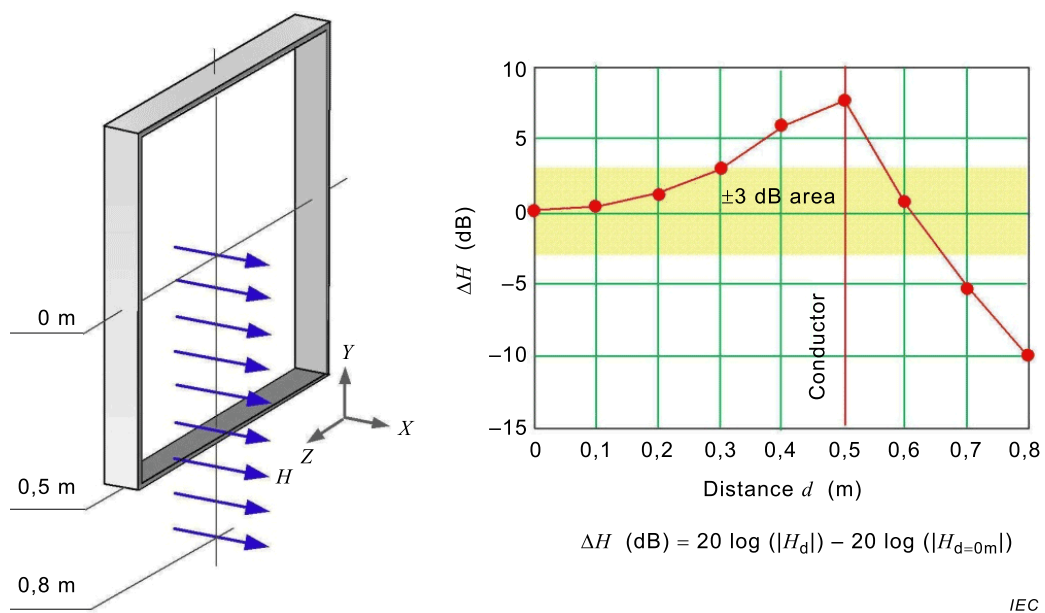


Figure E.4 – H_x -field along the side in dB for 1 m $\times$ 1 m standard induction coil

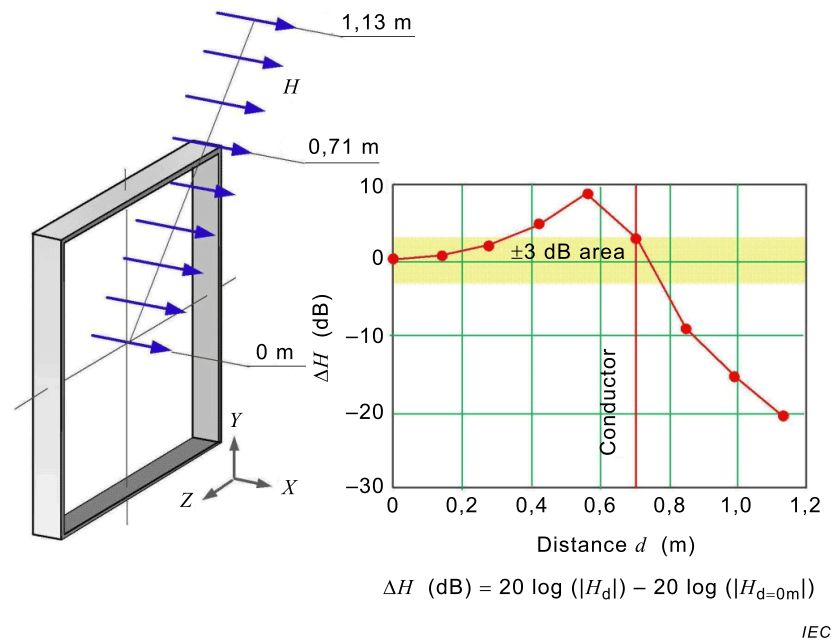


Figure E.5 – H_x -field along the diagonal in dB for the 1 m x 1 m standard induction coil

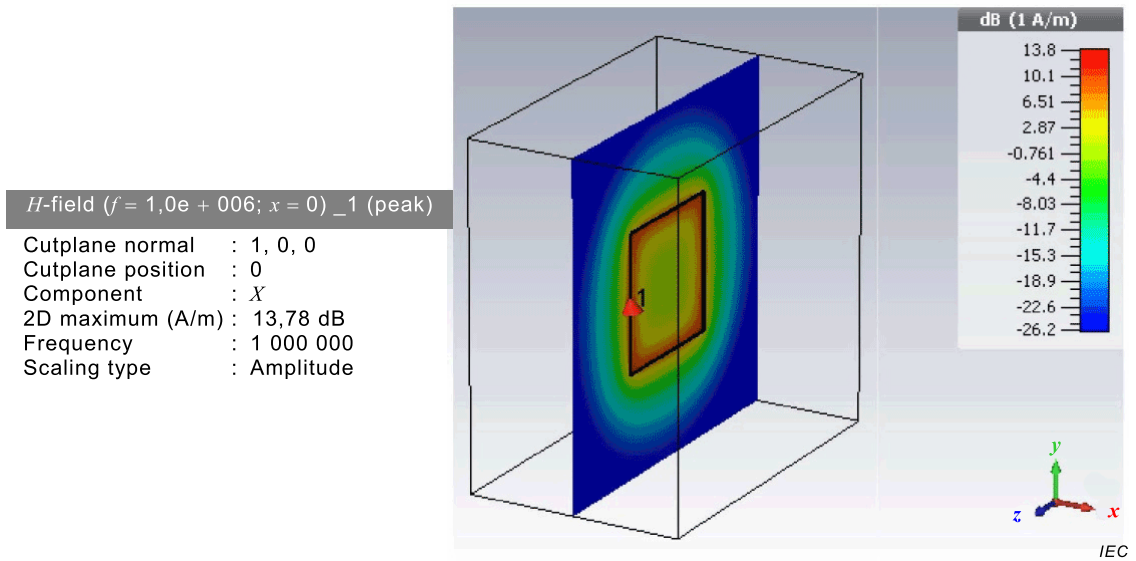


Figure E.6 – H_x -field plot on y - z plane for the 1 m x 1 m standard induction coil

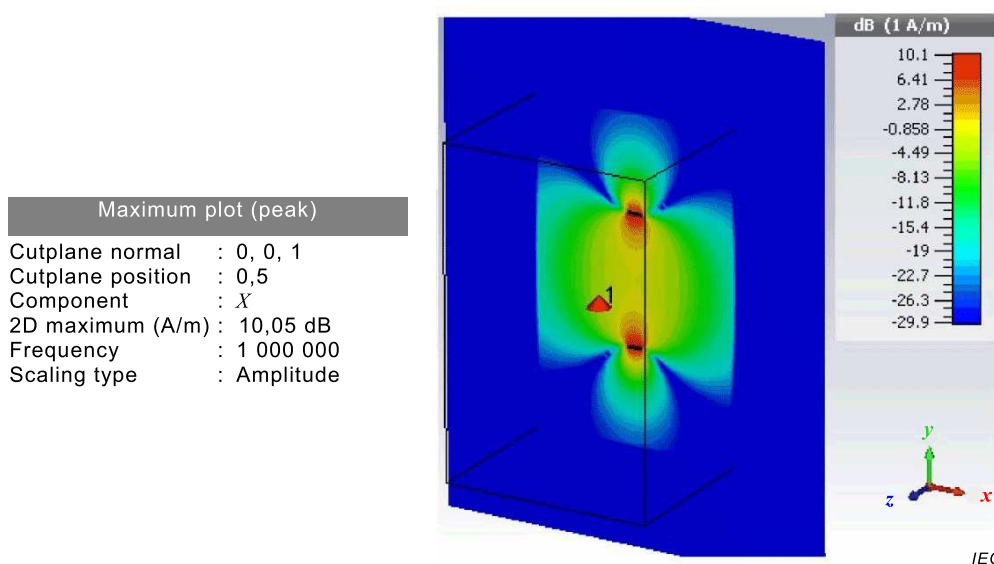


Figure E.7 – H_x -field plot on x - y plane for the 1 m $\times$ 1 m standard induction coil

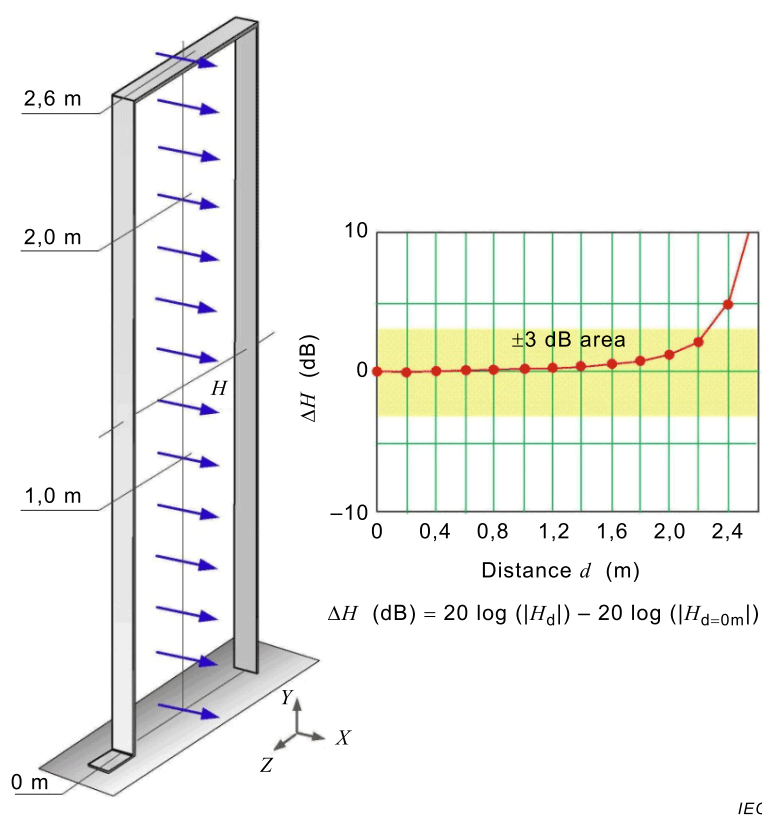


Figure E.8 – H_x -field along the vertical middle line in dB for the 1 m $\times$ 2,6 m standard induction coil

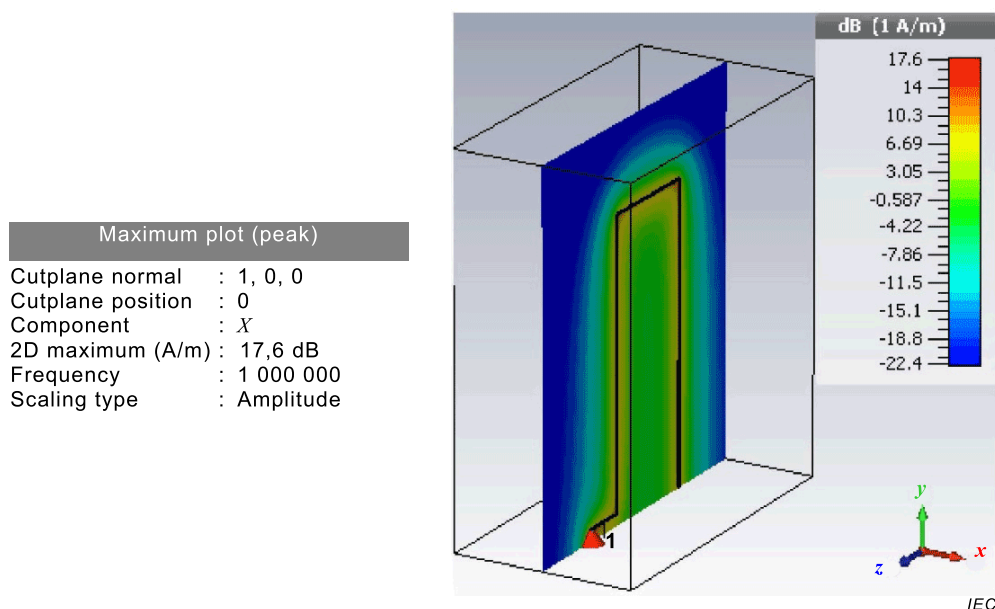


Figure E.9 – H_x -field 2D-plot on y - z plane for the 1 m $\times$ 2,6 m standard induction coil

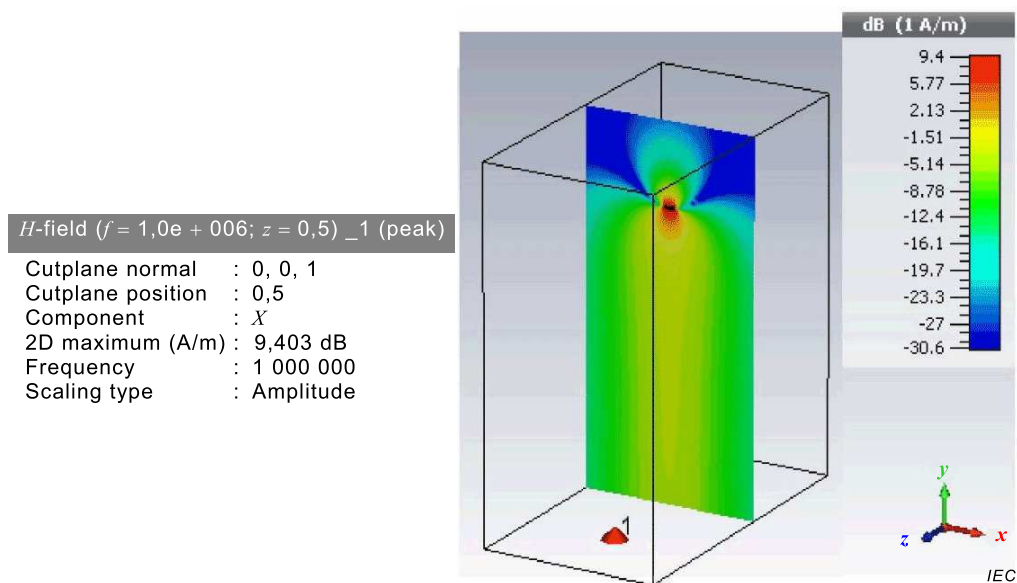


Figure E.10 – H_x -field 2D-plot on x - y plane at $z = 0,5$ m for the 1 m $\times$ 2,6 m standard induction coil

Bibliography

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

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

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	45
INTRODUCTION.....	47
1 Domaine d'application et objet	48
2 Références normatives	48
3 Termes, définitions et termes abrégés.....	49
3.1 Termes et définitions	49
3.2 Abréviations	50
4 Généralités.....	50
5 Niveaux d'essais.....	50
6 Instrumentation d'essai	51
6.1 Généralités	51
6.2 Générateur d'ondes oscillatoires amorties.....	51
6.2.1 Généralités	51
6.2.2 Caractéristiques de performances du générateur connecté à la bobine d'induction normalisée.....	52
6.3 Bobine d'induction normalisée	54
6.4 Etalonnage du système d'essai.....	54
7 Montage d'essai	55
7.1 Équipement d'essai	55
7.2 Vérification de l'instrumentation d'essai	55
7.3 Montage d'essai pour EUT de table	56
7.4 Montage d'essai pour EUT posé au sol	57
7.5 Montage d'essai pour le champ oscillatoire amorti appliqué in situ.....	58
8 Procédure d'essai.....	58
8.1 Généralités	58
8.2 Conditions de référence du laboratoire	58
8.2.1 Conditions climatiques	58
8.2.2 Conditions électromagnétiques	59
8.3 Exécution de l'essai	59
9 Évaluation des résultats d'essais	59
10 Rapport d'essai	60
Annexe A (informative) Informations relatives à la distribution du champ des bobines d'induction normalisées.....	61
A.1 Généralités	61
A.2 Détermination du facteur de bobine	61
A.2.1 Généralités	61
A.2.2 Calcul du facteur de bobine	61
A.3 Bobine d'induction normalisée de 1 m × 1 m	62
A.4 Bobine d'induction normalisée de 1 m × 2,6 m avec plan de masse de référence	63
A.5 Bobine d'induction normalisée de 1 m × 2,6 m sans plan de masse de référence	65
Annexe B (informative) Choix des niveaux d'essais	67
Annexe C (informative) Fréquence du champ magnétique oscillatoire amorti.....	69
Annexe D (informative) Considérations relatives à la mesure de l'incertitude.....	70
D.1 Généralités	70

D.2	Légende.....	70
D.3	Contributeurs à l'incertitude de mesure du courant de crête et du champ magnétique oscillatoire amorti	70
D.4	Incertaince du courant de crête et étalonnage du champ magnétique oscillatoire amorti.....	71
D.4.1	Généralités	71
D.4.2	Courant de crête	71
D.4.3	Autres contributions à l'incertitude de mesure pour les mesures d'amplitude et de temps	73
D.4.4	Temps de montée de la réponse à un échelon du système de mesure et largeur de bande de la réponse en fréquence du système de mesure	73
D.4.5	Distorsion de la crête d'impulsion en raison de la largeur de bande limitée du système de mesure	74
D.5	Application des incertitudes au critère de conformité du générateur d'ondes oscillatoires amorties.....	76
Annexe E (informative)	Simulations numériques 3D	77
E.1	Généralités	77
E.2	Simulations	77
E.3	Commentaires.....	77
Bibliographie		83
Figure 1	Schéma simplifié du générateur d'essai produisant le champ magnétique oscillatoire amorti	52
Figure 2	Forme d'onde du courant de court-circuit dans les bobines normalisées	53
Figure 3	Forme d'onde du courant de court-circuit présentant le temps de répétition T_{rep}	53
Figure 4	Exemple de mesure du courant des bobines d'induction normalisées.....	54
Figure 5	Exemple de montage d'essai pour équipement de table.....	56
Figure 6	Exemple de montage d'essai pour équipement posé au sol montrant le plan orthogonal horizontal	57
Figure 7	Exemple de montage d'essai pour équipement posé au sol montrant le plan orthogonal vertical	57
Figure 8	Exemple de montage d'essai utilisant la méthode de proximité	58
Figure A.1	Bobine d'induction rectangulaire avec les côtés $a + b$ et c	62
Figure A.2	Isoligne +3 dB pour l'excitation magnétique (amplitude) dans le plan $x-y$ pour la bobine d'induction de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$	62
Figure A.3	Isolignes +3 dB et -3 dB pour l'excitation magnétique (amplitude) dans le plan $x-z$ pour la bobine d'induction de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$	63
Figure A.4	Isoligne +3 dB pour l'excitation 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	64
Figure A.5	Isolignes +3 dB et -3 dB pour l'excitation 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	64
Figure A.6	Isoligne +3 dB pour l'excitation 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	65
Figure A.7	Isolignes +3 dB et -3 dB pour l'excitation 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.....	66
Figure E.1	Courant avec une période de $1\text{ }\mu\text{s}$ et champ H au centre de la bobine d'induction normalisée de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$	78

Figure E.2 – Champ H_x le long de la bobine d'induction normalisée de 1 m × 1 m en A/m.....	78
Figure E.3 – Champ H_x dans le sens x perpendiculaire au plan de la bobine d'induction normalisée de 1 m × 1 m.....	79
Figure E.4 – Champ H_x le long du côté, en dB, de la bobine d'induction normalisée de 1 m × 1 m	79
Figure E.5 – Champ H_x le long de la diagonale, en dB, de la bobine d'induction normalisée de 1 m × 1 m.....	80
Figure E.6 – Tracé du champ H_x sur le plan y - z pour la bobine d'induction normalisée de 1 m × 1 m	80
Figure E.7 – Tracé du champ H_x sur le plan x - y pour la bobine d'induction normalisée de 1 m × 1 m	81
Figure E.8 – Champ H_x le long de la ligne médiane verticale, en dB, de la bobine d'induction normalisée de 1 m × 2,6 m.....	81
Figure E.9 – Tracé 2D du champ H_x sur le plan y - z pour la bobine d'induction normalisée de 1 m × 2,6 m.....	82
Figure E.10 – Tracé 2D du champ H_x sur le plan x - y à $z = 0,5$ m pour la bobine d'induction normalisée de 1 m × 2,6 m.....	82
Tableau 1 – Niveaux d'essai	51
Tableau 2 – Spécifications de courant de crête du système d'essai.....	55
Tableau 3 – Spécifications de forme d'onde du système d'essai.....	55
Tableau D.1 – Exemple de budget d'incertitude pour la crête du courant de choc oscillatoire amorti (I_p).....	72
Tableau D.2 – Facteur α (voir l'équation (D.6)) de différentes réponses impulsionnelles unidirectionnelles correspondant à la même largeur de bande du système B	74
Tableau D.3 – Facteur β (équation (D.12)) de la forme d'onde oscillatoire amortie.....	75

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –**Partie 4-10: Techniques d'essai et de mesure –
Essai d'immunité du champ magnétique oscillatoire amorti****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 61000-4-10 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 4-10 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 A relative à la distribution du champ de bobine d'induction;

- b) nouvelle Annexe D relative à l'incertitude de mesure;
- c) nouvelle Annexe E pour les simulations numériques;
- d) l'étalonnage par la mesure du courant a été abordé dans la présente édition.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

CDV	Rapport de vote
77B/730/CDV	77B/746A/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 oscillatoire amorti".

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-10: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité du champ magnétique oscillatoire amorti

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 oscillatoires amorties dans les postes moyenne et haute tension.

L'essai défini dans la présente norme s'applique aux équipements destinés à être installés à des emplacements où les phénomènes spécifiés à l'Article 4 sont rencontrés.

La présente norme ne spécifie pas les perturbations provoquées par le couplage capacitif ou inductif sur les câbles ou autres parties de l'installation. L'IEC 61000-4-18, qui porte sur les perturbations conduites, couvre ces aspects.

La présente norme a pour objet d'établir une base commune et reproductible pour évaluer la performance des équipements électriques et électroniques des postes moyenne et haute tension lorsqu'ils sont soumis à des champs magnétiques oscillatoires amortis.

L'essai s'applique principalement aux équipements électroniques destinés à être installés dans des postes haute tension. Les centrales électriques, les installations d'appareillage et les réseaux intelligents peuvent également être concernés par la présente norme et peuvent être pris en compte par les comités de produits.

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.

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 oscillatoires amorties

générateur délivrant une oscillation amortie dont la fréquence peut être définie à 100 kHz ou de 1 MHz et dont la constante de temps d'amortissement est de cinq périodes

3.1.3

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]

3.1.4

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

3.1.5

facteur de bobine d'induction

rapport entre l'excitation 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.

3.1.6

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

3.1.7

terre de référence

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

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

3.1.8

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.

3.1.9

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]

3.1.10

vérification

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

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

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

3.2 Abréviations

AE	Auxiliary equipment (équipement auxiliaire)
CEM	Compatibilité électromagnétique
EUT	Equipment under test (équipement en essai)
MU	Measurement uncertainty (incertitude de mesure)
PE	Protective earth (terre de protection)
RGP	Reference ground plane (plan de masse de référence)

4 Généralités

Les champs magnétiques oscillatoires amortis sont générés par la commutation de barres haute tension à l'aide d'isolateurs ou de sectionneurs. 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 au champ magnétique oscillatoire amorti qui s'applique à l'emplacement spécifique et aux conditions d'installation de l'équipement (l'équipement situé à proximité de la source de perturbation, par exemple).

La forme d'onde du champ d'essai correspond à une onde oscillatoire amortie (voir la Figure 2). Les caractéristiques sont données en 6.2.2.

Des informations relatives à la fréquence d'oscillation sont données à l'Annexe C.

5 Niveaux d'essais

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

Tableau 1 – Niveaux d'essai

Niveau	Intensité du champ magnétique oscillatoire amorti
	A/m (crête)
1	non applicable
2	non applicable
3	10
4	30
5	100
X ^a	spécial
NOTE L'excitation 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. Ce niveau, ainsi que la durée de l'essai, 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 B.

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 oscillatoires amorties

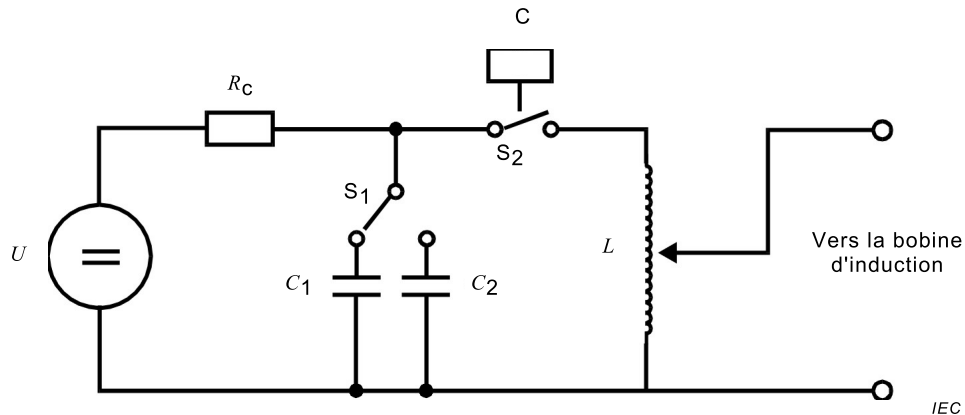
6.2.1 Généralités

Le générateur d'ondes oscillatoires amorties doit être en mesure de délivrer le courant de choc exigé aux bobines d'induction spécifiées en 6.3.

NOTE Pour cette application, une version modifiée d'un générateur d'ondes oscillatoires amorties similaire au générateur mentionné dans l'IEC 61000-4-18 est utilisée comme source de courant.

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

Un schéma de circuit simplifié du générateur est donné à la Figure 1.



U :	Source haute tension	R_C :	Résistance de charge
C :	Durée de commande	L :	Bobine du circuit oscillant
S_1	Sélecteur de fréquence	S_2	Sélecteur de durée
C_1, C_2 : Condensateurs du circuit oscillant (commutable de 0,1 MHz à 1 MHz)			

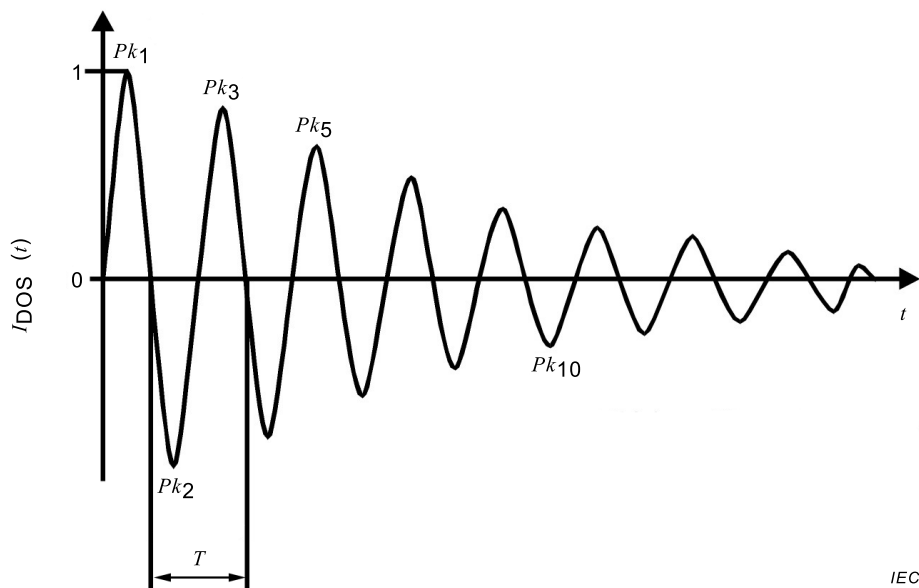
Figure 1 – Schéma simplifié du générateur d'essai produisant le champ magnétique oscillatoire amorti

6.2.2 Caractéristiques de performances du générateur connecté à la bobine d'induction normalisée

Les caractéristiques de performances ci-dessous s'appliquent au générateur connecté à des bobines d'induction normalisées présentées en 6.3.

Période d'oscillation	voir le Tableau 3
Courant dans les bobines (valeur Pk_1)	voir le Tableau 2
Forme d'onde du champ magnétique oscillatoire amorti	voir la Figure 2
Le taux de décroissance D_{r1}, D_{r2}	Pk_5 doit être > 50 % de la valeur Pk_1 et Pk_{10} doit être < 50 % de la valeur Pk_1
Fréquence de répétition $1/T_{rep}$ (voir la Figure 3)	40/s $\pm$ 10 % pour 100 kHz et 400/s $\pm$ 10 % pour 1 MHz
Durée de l'essai	au moins 2 s
Décalage de phase	pas d'exigence

La fréquence d'oscillation est définie comme étant la réciproque de la période des premier et troisième passages du zéro après la crête initiale. Cette période est appelée T à la Figure 2.

**Légende**

$T = 1 \mu\text{s}$ (1 MHz) ou $10 \mu\text{s}$ (0,1 MHz)

Figure 2 – Forme d'onde du courant de court-circuit dans les bobines normalisées

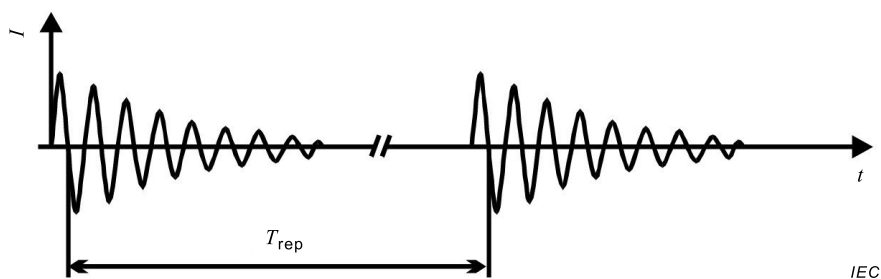


Figure 3 – Forme d'onde du courant de court-circuit présentant le temps de répétition T_{rep}

La formule de la forme d'onde idéale de la Figure 2, $I_{\text{DOS}}(t)$, est la suivante:

$$I_{\text{DOS}}(t) = K_i \frac{i_1}{KH} \left(\frac{\left(\frac{t}{t_{1h}} \right)^{nh}}{1 + \left(\frac{t}{t_{1h}} \right)^{nh} e^{\frac{t}{t_{2h}}}} \right) \sin(\beta t)$$

avec

$$KH = e^{-\frac{t_{1h}}{t_{2h}} \left(\frac{t_{2h}}{t_{1h}} \right)^{\frac{1}{nh}}}$$

où les paramètres de la période d'oscillation $T = 1 \mu\text{s}$ sont:

$$K_i = 1; i_1 = 0,963; t_{1h} = 0,08 \mu\text{s}; t_{2h} = 4,8 \mu\text{s}; nh = 2,1; \beta = 6,27 \times 10^6 \text{ rad/s:}$$

et les paramètres de la période d'oscillation $T = 10 \mu\text{s}$ sont:

$$K_i = 1; i_1 = 0,963; t_{1h} = 0,8 \mu\text{s}; t_{2h} = 48 \mu\text{s}; nh = 2,1; \beta = 0,627 \times 10^6 \text{ rad/s};$$

6.3 Bobine d'induction normalisée

Pour les deux bobines normalisées à une seule spire de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ et de $1 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$, la distribution du champ est connue et présentée à l'Annexe A. Par conséquent, aucune vérification du champ ni aucun étalonnage ne sont nécessaires, la mesure du courant présentée à la Figure 4 étant suffisante.

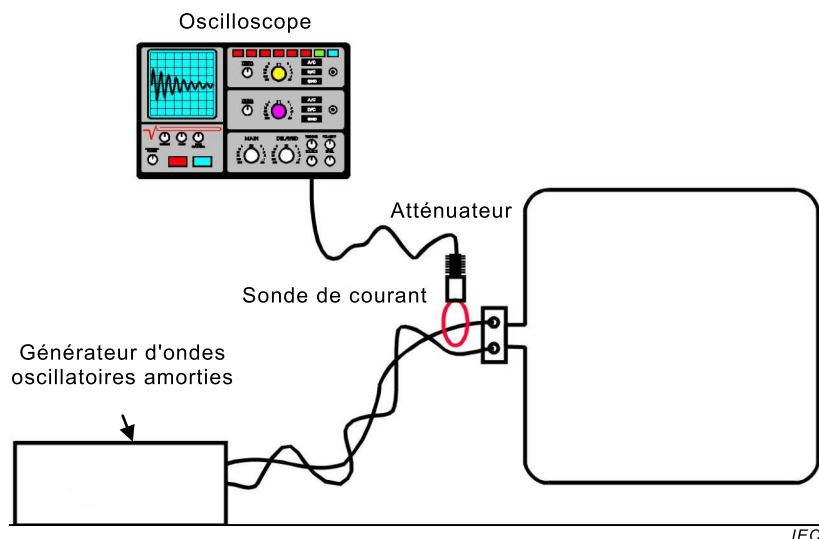


Figure 4 – Exemple de mesure du courant des bobines d'induction normalisées

Cette bobine doit être en cuivre, en aluminium ou en matériau conducteur non magnétique. Sa section et sa conception doivent permettre de lui donner une position stable pendant les essais.

Les caractéristiques des bobines d'induction en fonction de la distribution du champ magnétique sont données à l'Annexe A.

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 4).

Le courant de sortie doit être vérifié avec le générateur connecté à la bobine d'induction normalisée spécifiée en 6.3. La connexion doit être réalisée par des conducteurs torsadés ou par un câble coaxial de 3 m de long au maximum et présentant une section adaptée.

Les spécifications données au Tableau 3 ne sont pas applicables pour les étalonnages réalisés au niveau d'essai 5 avec la bobine d'induction normalisée de $1 \text{ m} \times 2,6 \text{ m}$ connectée. Dans ce cas, l'étalonnage doit être réalisé en utilisant uniquement la bobine d'induction normalisée de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$.

Les spécifications suivantes données au Tableau 2 et au Tableau 3 doivent être vérifiées.

Tableau 2 – Spécifications de courant de crête du système d'essai

Niveau d'essai	Courant de crête $I \pm 20 \%$ 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	11,1	15,2
4	33,3	45,5
5	111	voir note 2
X	spécial/0,9	spécial/0,66
NOTE 1 Les valeurs 0,9 et 0,66 sont les facteurs de bobine calculés des bobines d'induction normalisées.		
NOTE 2 La valeur calculée est de 152. Toutefois, aucun générateur n'est actuellement disponible dans le commerce.		

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

Éléments d'étalonnage	Fréquence d'oscillation	
	100 kHz	1 MHz
Période d'oscillation	$T = 10 \mu\text{s} \pm 1 \mu\text{s}$	$T = 1 \mu\text{s} \pm 0,1 \mu\text{s}$
Temps de répétition des impulsions	$T_{\text{rep}} = 25 \text{ ms} \pm 2,5 \text{ ms}$	$T_{\text{rep}} = 2,5 \text{ ms} \pm 0,25 \text{ ms}$
Taux de décroissance d'une impulsion	$D_{r1} = I(PK_5) \div I(PK_1) > 50 \%$	$D_{r1} = I(PK_5) \div I(PK_1) > 50 \%$
	$D_{r2} = I(PK_{10}) \div I(PK_1) < 50 \%$	$D_{r2} = I(PK_{10}) \div I(PK_1) < 50 \%$

Les étalonnages doivent être réalisés à tous les niveaux qui sont utilisés par les laboratoires.

Les étalonnages doivent être effectués avec une sonde de courant et un oscilloscope ou autre instrumentation de mesure équivalente d'une largeur de bande minimale de 10 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 oscillatoires amorties;
- bobine d'induction normalisée;
- 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 oscillatoires amorties;
- 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 présente aux bornes de la bobine d'induction normalisées.

Il est suffisant de vérifier que l'impulsion 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 EUT de table

Les EUT de table doivent être placés sur une table non conductrice. La bobine d'induction normalisée 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 ($L \times l \times H$). La bobine d'induction normalisée 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 ($L \times l \times H$).

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) doit être appliquée.

L'impact des câbles ne doit pas être optimisé pendant cet essai. La proximité des câbles avec la bobine d'induction 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 5 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).

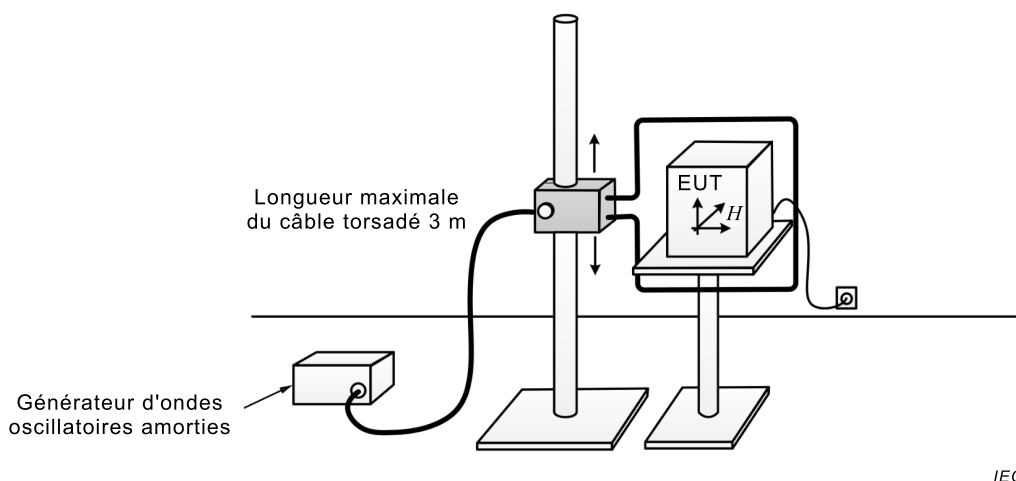
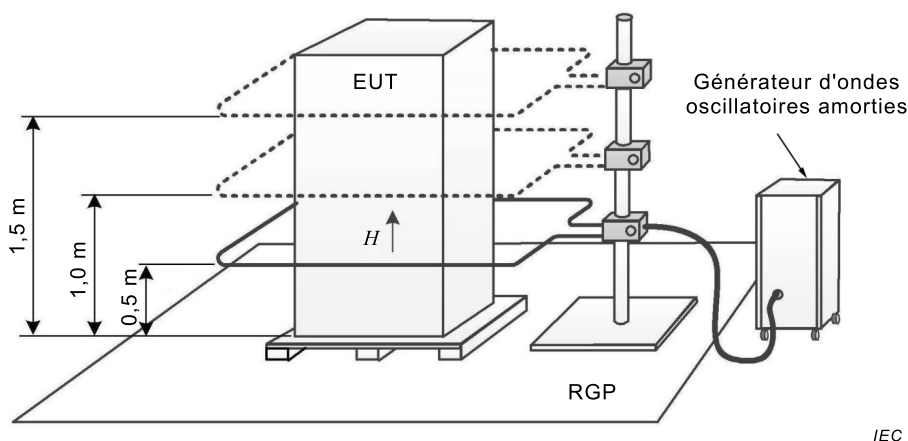


Figure 5 – Exemple de montage d'essai pour équipement de table

7.4 Montage d'essai pour EUT posé au sol

La bobine d'induction normalisée 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 (voir la Figure 7). 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.

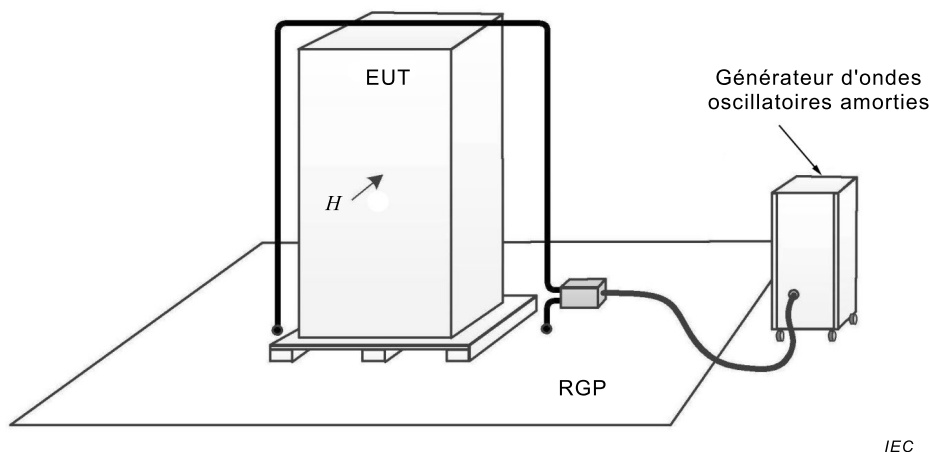
Le plan de masse de référence doit présenter une épaisseur minimale de 0,65 mm et une taille minimale de 1 m × 1 m. L'EUT doit être isolé du plan de masse de référence.



IEC

Figure 6 – 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. Dans tous les cas, la bobine d'induction présentée à la Figure 6 ne doit pas être placée à moins de 0,5 m. La Figure 7 présente un exemple d'essai avec un plan orthogonal vertical.



IEC

Figure 7 – 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 ($L \times l \times H$).

Lorsqu'un EUT ne s'intègre pas dans la bobine rectangulaire de 1 m × 2,6 m, la méthode de proximité (voir la Figure 8 et 7.5 pour des informations détaillées) doit être appliquée.

L'impact des câbles ne doit pas être optimisé pendant cet essai. La proximité des câbles avec la bobine d'induction 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.

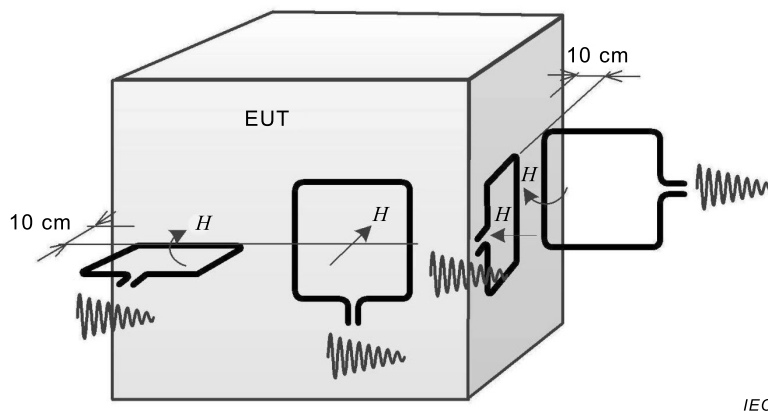


Figure 8 – Exemple de montage d'essai utilisant la méthode de proximité

7.5 Montage d'essai pour le champ oscillatoire amorti 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 est la seule méthode d'essai pratique sans plan de masse de référence en place. La Figure 8 donne un exemple de montage d'essai pour les essais in situ. Il convient d'utiliser la bobine d'induction normalisée de 1 m × 1 m 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.

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;
- la durée de l'essai (au moins 2 s);
- les fréquences d'oscillation;
- les conditions de fonctionnement représentatives de l'EUT;
- les orientations du champ;
- le nombre de points d'essai;
- les emplacements de la bobine d'induction normalisée par rapport à l'EUT (points d'essai);
- le choix et la justification des points d'essai (les zones de l'EUT sensibles aux champs magnétiques oscillatoires amortis sont recommandées).

Les essais et l'étalonnage doivent être réalisés en fonction de la forme d'onde spécifiée à la Figure 2 et à la Figure 3.

NOTE Les comités de produits peuvent appliquer des essais de plus longue durée, si cela est approprié pour leurs produits.

La durée d'essai doit être appliquée une seule fois par orientation.

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 exigés en 8.3;
- 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.

Annexe A (informative)

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

A.1 Généralités

L'Annexe A donne des informations relatives à la taille maximale d'un EUT et à son emplacement dans les bobines d'induction normalisées. Le champ est considéré comme étant suffisamment uniforme si l'amplitude de l'excitation magnétique est dans les limites de ± 3 dB de l'intensité du champ au centre de la bobine d'induction.

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

A.2 Détermination du facteur de bobine

A.2.1 Généralités

Il convient de déterminer le facteur de bobine d'induction par calcul. Le facteur de bobine est utilisé pour calculer le courant dans la bobine d'induction afin d'obtenir l'excitation magnétique exigée au centre de la bobine d'induction.

A.2.2 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 du conducteur de bobine 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 $b = 3 \times a$.

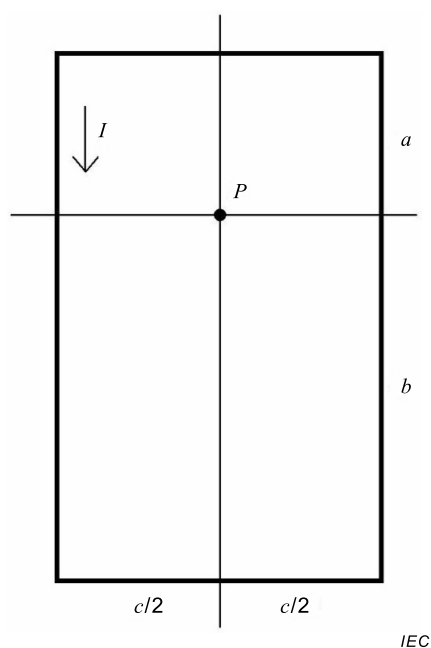
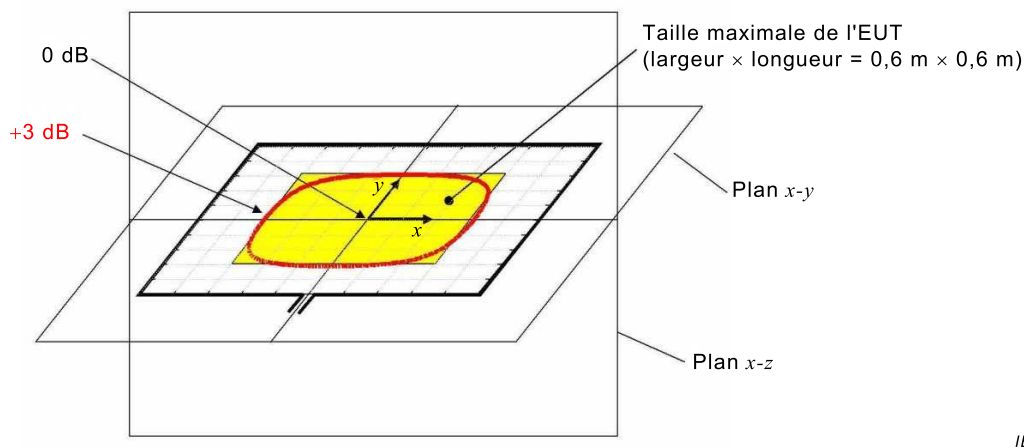


Figure A.1 – Bobine d'induction rectangulaire avec les côtés $a + b$ et c

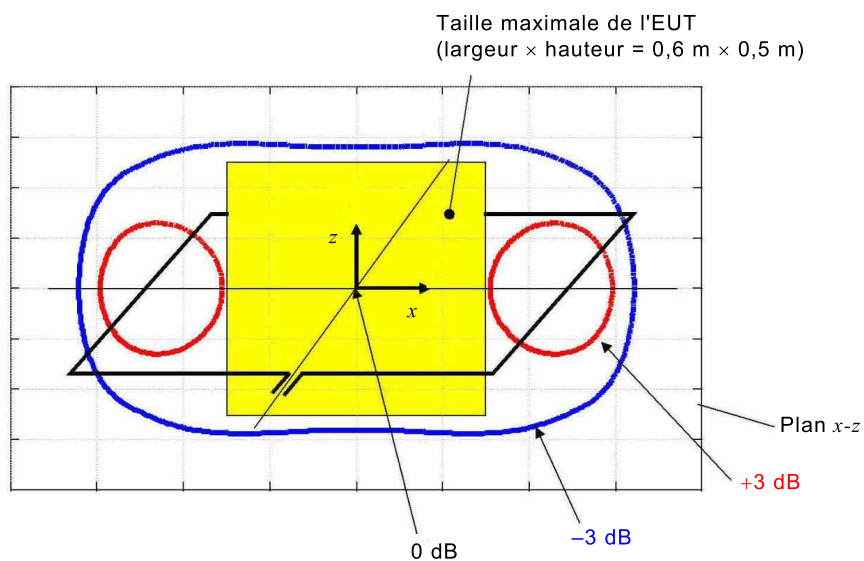
A.3 Bobine d'induction normalisée de 1 m × 1 m

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



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

Figure A.2 – Isoligne +3 dB pour l'excitation magnétique (amplitude) dans le plan x - y pour la bobine d'induction de 1 m × 1 m



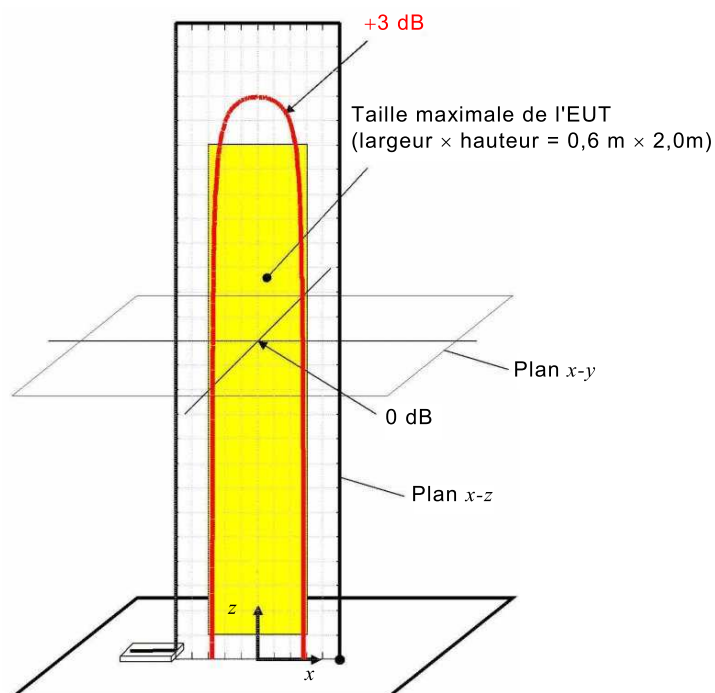
IEC

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

A.4 Bobine d'induction normalisée de 1 m $\times$ 2,6 m avec plan de masse de référence

Les isolignes +3 dB et –3 dB pour l'excitation magnétique (amplitude) sont présentées à la Figure A.4 pour le plan x - z et à la Figure A.5 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.

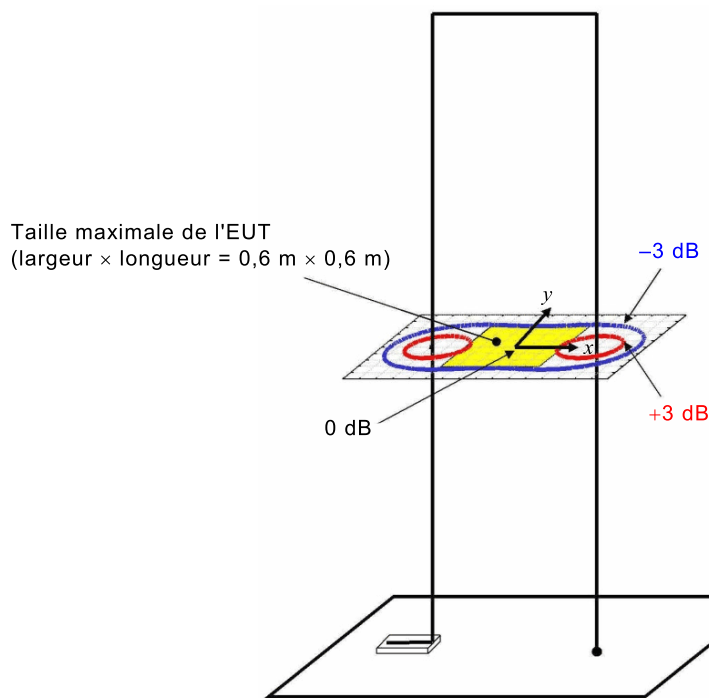
Pour le calcul des isolignes ± 3 dB, la taille du plan de masse de référence est considérée comme étant infinie.



IEC

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

Figure A.4 – Isoline +3 dB pour l'excitation magnétique (amplitude) dans le plan x - z pour la bobine d'induction de 1 m x 2,6 m avec plan de masse de référence

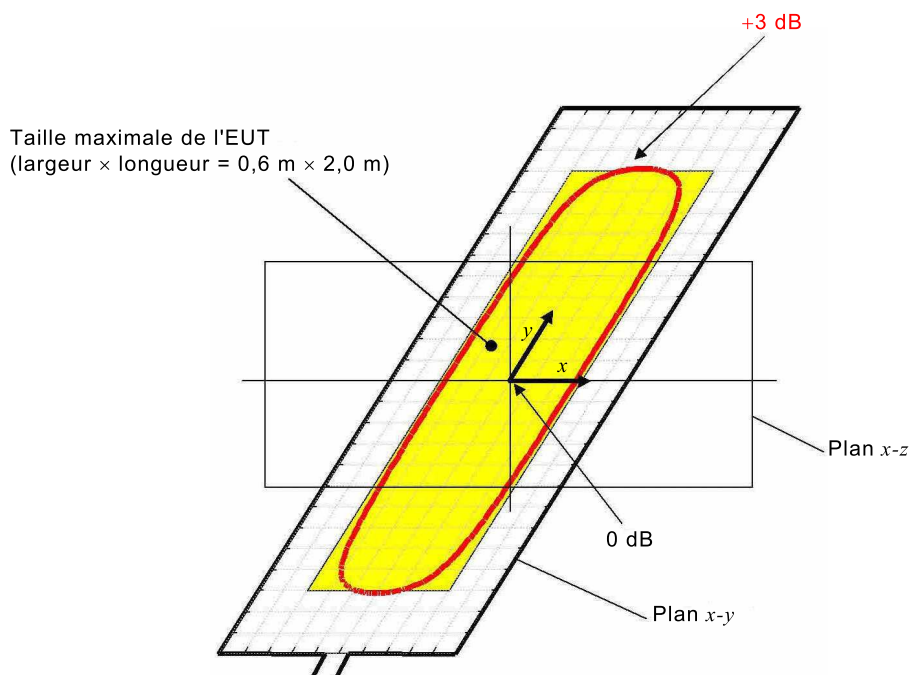


IEC

Figure A.5 – Isolignes +3 dB et -3 dB pour l'excitation magnétique (amplitude) dans le plan x - y pour la bobine d'induction de 1 m x 2,6 m avec plan de masse de référence

A.5 Bobine d'induction normalisée de 1 m × 2,6 m sans plan de masse de référence

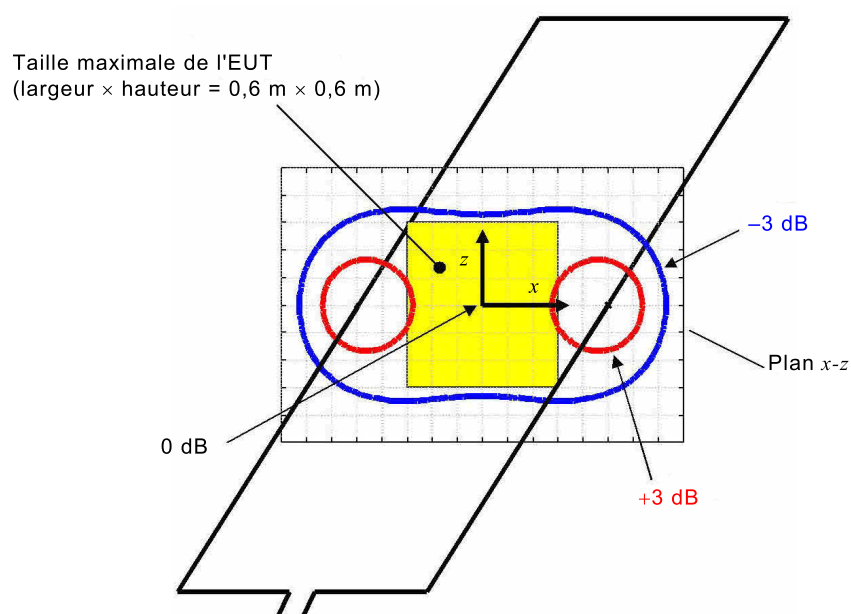
Les isolignes +3 dB et -3 dB pour l'excitation magnétique (amplitude) sont présentées à la Figure A.6 pour le plan x - y et à la Figure A.7 pour le plan x - z . La taille maximale de l'EUT est la suivante: largeur × longueur × hauteur = 0,6 m × 0,6 m × 2 m.



IEC

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

Figure A.6 – Isoline +3 dB pour l'excitation 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 A.7 – Isolignes +3 dB et –3 dB pour l'excitation 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

Annexe B (informative)

Choix des niveaux d'essais

Les niveaux d'essai doivent être sélectionnés en fonction de l'environnement électromagnétique dans lequel l'équipement connecté 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 oscillatoire amorti 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 aux champs magnétiques oscillatoires amortis 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 C (informative)

Fréquence du champ magnétique oscillatoire amorti

Ce phénomène est typique du fonctionnement des isolateurs dans les postes haute tension et plus particulièrement des barres haute tension.

L'ouverture et la fermeture des isolateurs haute tension engendrent une onde transitoire à front raide d'une durée de l'ordre de quelques dizaines de ns. Ces phénomènes sont adoucis par la capacité globale répartie des structures des équipements haute tension au fur et à mesure de leur propagation.

L'évolution de l'onde transitoire de surtension comprend des phénomènes de réflexion dus à la désadaptation de l'impédance caractéristique des circuits haute tension concernés. A cet égard, l'intensité et la tension transitoires qui en résultent dans les barres haute tension sont caractérisées par une fréquence d'oscillation fondamentale variable en fonction de la longueur du circuit et du temps de propagation.

La valeur de crête du courant transitoire qui génère les champs magnétiques définis dans la présente norme est directement liée à la tension de crête sur les barres, ainsi qu'à leur impédance caractéristique. La tension est à peu près égale au double de la valeur de crête de la phase du système haute tension et le courant (déterminé également par l'impédance caractéristique de ces circuits) vaut à peu près 2 kA crête.

La fréquence d'oscillation est déterminée par la longueur et l'inductance propre des circuits HT (1 μ H/m), la capacité série du disjoncteur à l'état inactif (500 pF), la capacité concentrée des transformateurs condensateurs de tension (nF), des transformateurs de courant (300 pF) et des supports HT (20 pF chacun).

Les plages de fréquences d'oscillation varient d'environ 100 kHz à quelques MHz selon l'influence du paramètre mentionné et de la longueur des barres, qui peut varier de quelques dizaines à quelques centaines de mètres (une variation de 400 m peut se produire).

A cet égard, une fréquence d'oscillation de 1 MHz peut être considérée comme représentative de la plupart des situations. Toutefois, une fréquence de 100 kHz a été jugée plus appropriée pour les grands postes haute tension.

La fréquence de répétition est variable. Toutes les autres conditions étant les mêmes par ailleurs, elle est fonction de la distance séparant les contacts de commutation: lorsque les contacts sont fermés, la fréquence de répétition est maximale, alors que pour des distances entre les contacts à la limite de l'extinction de l'arc, la fréquence de répétition minimale, pour chaque phase, est égale au double de la fréquence industrielle (100/s pour les réseaux en 50 Hz et 120/s pour les réseaux en 60 Hz). Néanmoins, c'est à ces fréquences que l'excitation magnétique est maximale.

Les fréquences de répétition retenues de 0,1 MHz et 1 MHz pour les essais aux champs représentent un compromis qui tient compte des différentes durées possibles du phénomène, de la représentativité des différentes fréquences et des problèmes liés à la puissance du générateur d'essai.

Annexe D (informative)

Considérations relatives à la mesure de l'incertitude

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 de la crête du courant de choc oscillatoire amorti 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.

Des détails supplémentaires sont donnés dans l'IEC TR 61000-1-6.

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 la norme fondamentale, 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 oscillatoire amorti injecté dans la bobine
 H_P Crête de l'impulsion de champ magnétique
 k_{CF} Facteur de bobine de la bobine d'induction: $H_P = k_{CF} \times I_P$

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 Contributeurs à l'incertitude de mesure du courant de crête et du champ magnétique oscillatoire amorti

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
- 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 crête et étalonnage du champ magnétique oscillatoire amorti

D.4.1 Généralités

Dans le cas de l'essai de champ magnétique, les quantités de perturbation sont le courant oscillatoire amorti produit par le générateur d'essai et injecté dans les bornes de la bobine, et le champ magnétique oscillatoire amorti 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 pour le courant de choc et H_P pour le champ magnétique impulsionnel. 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, le champ magnétique impulsionnel a la même forme d'onde du courant de choc, et la crête du champ magnétique est obtenue par l'équation $H_P = k_{CF} \times I_P$.

Des paramètres supplémentaires caractérisent la perturbation, c'est-à-dire la fréquence d'oscillation et l'amortissement. Toutefois, l'évaluation de l'incertitude de mesure de ces paramètres, bien qu'exigée, est moins astreignante que celle de la crête d'impulsion. L'attention est donc portée ici sur l'incertitude de mesure de la crête de l'impulsion.

L'approche adoptée ici pour évaluer l'incertitude de mesure d'impulsion est décrite en D.4.4 et D.4.5. Le Tableau D.1 donne un exemple du budget d'incertitude pour le courant de choc de crête. Le tableau inclut les grandeurs d'entrée qui sont considérées comme étant les plus significatives pour cet exemple, 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 le budget d'incertitude.

D.4.2 Courant de crête

Le mesurande est la crête du courant de choc oscillatoire amorti calculé à l'aide de la relation fonctionnelle

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

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 $(63,8 \pm 7,1)$ kHz à la fréquence d'oscillation $f_0 = 0,1$ MHz et (638 ± 71) kHz à la fréquence d'oscillation $f_0 = 1$ MHz

La fréquence d'oscillation du courant de choc oscillatoire amorti $f_0 = 1$ MHz est prise pour hypothèse pour l'exemple suivant de budget d'incertitude.

Tableau D.1 – Exemple de budget d'incertitude pour la crête du courant de choc oscillatoire amorti (I_p)

Symbole	Estimation	Unité	Limite d'erreur	Unité	PDF ^a	Diviseur	$u(x_i)$	c_i	Unité	$u_i(y)$	Unité
V_{PR}	0 115	V	0,000 2	V	triangulaire	2,45	0,000 09	1 004	1/Ω	0 092	A
R_T	0 001	Ω	0,000 05	Ω	rectangulaire	1,73	0,000 03	11 5470	A/Ω	3,33	A
δR	0	1	0,03	1	normal ($k=1$)	1,00	0 030	115,5	A	3,46	A
δV	0	1	0,02	1	rectangulaire	1,73	0,011 6	115,5	A	1,33	A
β	638	kHz	71	kHz	rectangulaire	1,73	40,99	0,001 48	A/kHz	0 061	A
B	10 000	kHz	1 000	kHz	rectangulaire	1,73	577,4	0,000 09	A/kHz	0 054	A
								$u_c(y) = \sqrt{\sum u_i(y)^2}$		4,99	A
								$U(y) = 2 u_c(y)$		9,98	A
								Y		115	A
								Exprimé en % de 115 A		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 ou à travers un shunt 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). Si la capacité d'interpolation n'est pas disponible ou qu'elle n'est pas active, la fonction de densité de probabilité rectangulaire est utilisée.

R_T : est l'impédance (ou sensibilité) de transfert du shunt 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.

δR : quantifie la non-répétabilité du montage de mesure, de la présentation et des instruments. 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

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

où $\bar{q}$ est la moyenne arithmétique des valeurs q_j . δR est exprimée en termes relatifs, et une estimation de 0 % et une limite d'erreur de 3 % (1 écart-type) sont prises comme hypothèse.

δV : quantifie l'inexactitude de mesure d'amplitude de la portée à courant continu. δV est exprimée en termes relatifs. Une limite d'erreur de 2 % d'une fonction de densité de probabilité rectangulaire et une estimation de 0 % sont prises comme hypothèse.

β : est un coefficient qui dépend de la forme tant de la réponse impulsionnelle du système de mesure que de la forme d'onde d'impulsion normalisée au voisinage de la crête (voir D.4.5). L'intervalle (638 ± 71) kHz est représentatif d'une large classe de systèmes, chacune présentant une forme de réponse impulsionnelle différente.

B : 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:

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

Une estimation de 10 MHz et une limite d'erreur de 1 MHz d'une fonction de densité de probabilité rectangulaire sont prises comme hypothèse pour B .

NOTE L'incertitude de la crête de l'impulsion de champ magnétique est obtenue à partir de la relation fonctionnelle $H_P = k_{CF} \times I_P$ où k_{CF} est le facteur de bobine mesuré grâce à la procédure d'étalonnage décrite dans la présente norme (c'est-à-dire à la fréquence industrielle). Par conséquent, si la valeur mesurée de k_{CF} est de 0,90 (dans le cas d'une boucle d'induction carrée de 1 m de côté, par exemple) et que son incertitude élargie est de 5 %, la meilleure estimation de H_P est 104 A/m et son incertitude élargie de 9,9 % (voir le Tableau D.1)

D.4.3 Autres contributions à l'incertitude de mesure pour les mesures d'amplitude et de temps

Les contributions suivantes peuvent également avoir un impact sur le budget d'incertitude de mesure:

Décalage en courant continu: Le décalage en courant continu de la portée contribue à l'incertitude de mesure de la crête de tension, si la crête est mesurée à partir de la ligne zéro en courant continu nominale de la portée. Cette contribution peut être ignorée si le logiciel de lecture de la portée mesure la crête à partir de la ligne de base de l'impulsion.

Erreur et gigue de la base de temps: Les spécifications de l'oscilloscope peuvent être considérées comme des limites d'erreur des fonctions de densité de probabilité rectangulaires. En règle générale, ces contributions sont négligeables.

Résolution verticale: La contribution dépend de la résolution d'amplitude verticale ΔA et de la pente de la trace dA/dt . L'incertitude est liée à la moitié de la largeur de la résolution, et est de $(\Delta A/2)/(dA/dt)$. Si l'interpolation de trace est réalisée (voir le manuel de l'oscilloscope), une fonction de densité de probabilité triangulaire est utilisée. Sinon, une fonction de densité de probabilité rectangulaire est utilisée. Cette contribution peut ne pas être négligeable lorsque $|dA/dt| < (\Delta A/T_i)$, où T_i est l'intervalle d'échantillonnage de la portée.

D.4.4 Temps de montée de la réponse à un échelon du système de mesure et largeur de bande de la réponse en fréquence du système de mesure

Soit T_{MS} le temps de montée de la réponse à un échelon du système de mesure tel que défini dans l'équation (D.4)

$$T_{MS} = \sqrt{2\pi \int_0^{\infty} (t - T_s)^2 h_0(t) dt} \quad (\text{D.4})$$

où $h_0(t)$ est la réponse impulsionnelle du système de mesure ayant une surface normalisée,

c'est-à-dire $\int_0^{\infty} h_0(t) dt = 1$, et T_s est le temps de retard donné par

$$T_s = \int_0^{\infty} t h_0(t) dt \quad (\text{D.5})$$

L'équation (D.4) est plus aisée à traiter, d'un point de vue mathématique, que l'équation habituelle s'appuyant sur des niveaux de seuil de 10 % et de 90 %. Néanmoins, dans les applications techniques, la définition du temps de montée de 10 % à 90 % est en général adoptée. Compte tenu de la largeur de bande –3 dB du système, les deux définitions donnent des temps de montée comparables. En effet, si nous définissons

$$\alpha = T_{MS} \cdot B \quad (D.6)$$

nous trouvons que les valeurs α déduites des deux définitions du temps de montée ne diffèrent pas beaucoup. Les valeurs de α , correspondant aux différentes formes de la réponse impulsionnelle $h(t)$, sont données au Tableau D.2. Au vu du Tableau D.2, il est évident qu'une seule valeur de α ne peut pas être identifiée, car α dépend à la fois de la définition adoptée du temps de montée (reposant sur les seuils ou sur l'équation (D.4), par exemple) et sur la forme de la réponse impulsionnelle du système de mesure. Une estimation raisonnable de α peut être obtenue sous la forme d'une moyenne arithmétique entre la valeur minimale (321×10^{-3}) et la valeur maximale (399×10^{-3}) qui apparaissent au Tableau D.2, c'est-à-dire 360×10^{-3} . De plus, il peut être pris comme hypothèse que, en l'absence d'informations relatives au système de mesure (autre sa largeur de bande), une valeur de α comprise entre 321×10^{-3} et 399×10^{-3} est également probable. Présenté de manière différente, α est supposé être une variable aléatoire ayant une fonction de densité de probabilité rectangulaire avec des limites inférieure et supérieure de 321×10^{-3} et 399×10^{-3} , respectivement. L'incertitude-type de α quantifie: a) l'indifférence au modèle mathématique adopté pour la définition du temps de montée, et b) l'indifférence à la forme de la réponse impulsionnelle du système.

Tableau D.2 – Facteur α (voir l'équation (D.6)) de différentes réponses impulsionnelles unidirectionnelles correspondant à la même largeur de bande du système B

Les valeurs de α sont multipliées par 10^3	Gaussien	Ordre I	Ordre II (crit. amort.)	Rectangulaire	Triangulaire
α , utilisant l'équation (D.4)	332	399	363	321	326
α , 10 % à 90 %	339	350	344	354	353

D.4.5 Distorsion de la crête d'impulsion en raison de la largeur de bande limitée du système de mesure

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

$$V_{out}(t) = \int_0^t V_{in}(\tau) \cdot h(t - \tau) d\tau \quad (D.7)$$

où $V_{in}(t)$ est la forme d'onde d'impulsion d'entrée et $h(t)$ la réponse impulsionnelle du système de mesure. Noter que $A \cdot h(t) = h_0(t)$, où A est l'atténuation de courant continu du système de mesure. La forme d'onde d'entrée peut être approximée par son développement en série de Taylor par rapport à l'instant t_p lorsque l'entrée atteint sa valeur de crête V_p

$$V_{in}(t) = V_p + \frac{V_{in}''(t_p)}{2} \cdot (t - t_p)^2 + \frac{V_{in}'''(t_p)}{6} \cdot (t - t_p)^3 + \dots \quad (D.8)$$

Noter que le terme de premier ordre manque dans l'équation D.8 étant donné que $V'(t_p) = 0$. De plus, $V''_{in}(t_p) < 0$, car la concavité est tournée vers le bas (maximum), et $V'''_{in}(t_p) > 0$, car, pour les formes d'onde normalisées dont il est question ici, le temps de montée est inférieur au temps de descente. En remplaçant l'équation D.8 dans l'équation D.7 et après simplifications, valides lorsque la largeur de bande du système de mesure est large par rapport à celle du signal d'entrée (de sorte que les termes de développement en série dont l'ordre est supérieur à deux soient négligeables), nous obtenons

$$V_{pd} = \frac{V_p}{A} \left[1 - \left(\frac{\beta}{B} \right)^2 \right] \quad (D.9)$$

où V_{pd} est la crête d'impulsion de sortie, A est l'atténuation de courant continu du système de mesure et

$$\beta = \alpha \cdot \sqrt{\frac{|V''_{in}(t_p)|}{4\pi V_p}} \quad (D.10)$$

Noter que le paramètre β dépend de la deuxième dérivée de la forme d'onde d'entrée normalisée et du paramètre α défini et déduit en D.4.4. Une simple expression mathématique de la forme d'onde oscillatoire amortie normalisée, utile pour le calcul de l'incertitude, est donnée par

$$V_{in}(t) = V_p e^{-\omega_0 \zeta t} \left[t - \frac{\pi}{2\omega_0} \right] \sin(\omega_0 t) \quad (D.11)$$

où $f_0 = \omega_0/(2\pi)$ est la fréquence d'oscillation et ζ l'amortissement. La valeur de β peut être déduite de manière analytique des équations (D.10) et (D.11) sous la forme

$$b \gg \alpha \sqrt{\pi} f_0 \quad (D.12)$$

La valeur de β , telle qu'obtenue à partir de l'équation (D.12), est indiquée au Tableau D.3.

Tableau D.3 – Facteur β (équation (D.12)) de la forme d'onde oscillatoire amortie

kHz	$f_0 = 0,1 \text{ MHz}$	$f_0 = 1 \text{ MHz}$
β	$63,8 \pm 7,1$	638 ± 71

NOTE 1 L'équation (D.12) est une approximation car la décroissance exponentielle par rapport à l'instant $t = t_p$ est négligée.

NOTE 2 Les valeurs de β obtenues à l'aide de l'équation (D.12) et indiquées au Tableau D.3 ne diffèrent pas notablement de celles obtenues par calcul à partir de la forme d'onde mathématique définie dans la présente norme.

NOTE 3 L'amortissement ζ peut être obtenu en mesurant le rapport $\rho > 1$ entre l'amplitude d'une oscillation maximale (ou minimale) et la suivante. Il est donné par l'équation (D.11).

$$\zeta = \frac{1}{2\pi} \ln \rho \quad (D.13)$$

Pour une forme d'onde satisfaisante, ζ se trouve dans la plage comprise entre 0,02 et 0,04.

D.5 Application des incertitudes au critère de conformité du générateur d'ondes oscillatoires amorties

En règle générale, pour être sûr que le courant et les transitoires oscillatoires de champ magnétique sont dans leurs spécifications, il convient que les résultats d'étalonnage soient dans les limites spécifiées de la présente norme (les tolérances ne sont pas limitées par l'incertitude de mesure).

Des indications supplémentaires sont données dans l'IEC TR 61000-1-6:2012, Article 6.

Annexe E (informative)

Simulations numériques 3D

E.1 Généralités

Dans l'Annexe E, des informations sont données concernant les distributions de champ H à l'intérieur et à l'extérieur des bobines, dans le cadre d'essais réalisés à l'aide de simulations numériques 3D dans le domaine temporel (résultats dynamiques) et le domaine fréquentiel (tracé numérique 2D du champ H) en complément des tracés 2D de l'Annexe A (résultats statiques).

E.2 Simulations

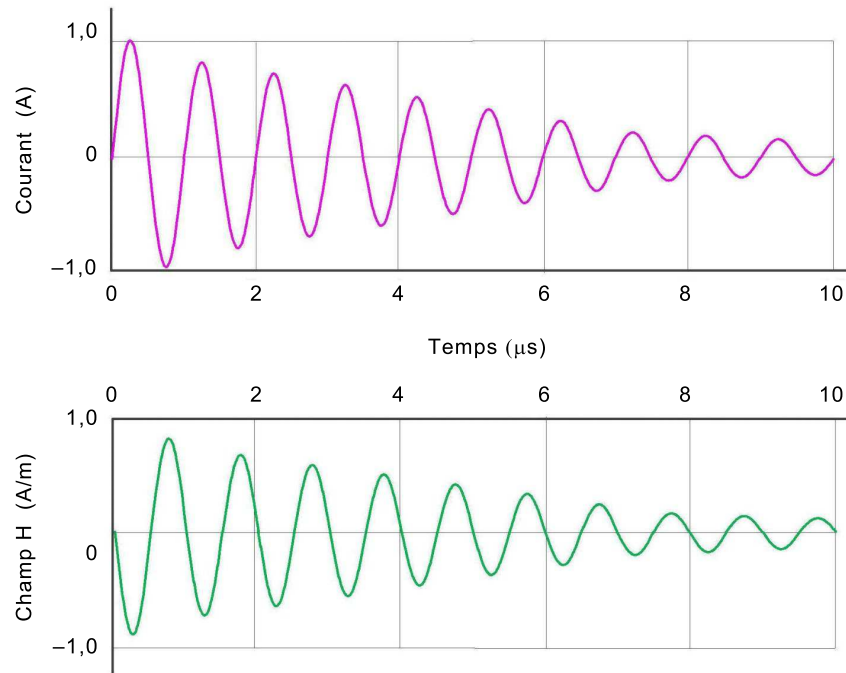
Les simulations des Figures E.1 à E.10 sont réalisées comme suit:

- Les bobines sont excitées par une source de courant idéale (voir le symbole "accès") dont la forme d'onde mathématique est telle que définie dans la présente norme et normalisée à 1 A.
- Deux conducteurs de forme extrêmes de la bobine sont pris en compte: un rectangulaire de 10 cm × 1 cm (présenté à l'Annexe E) et un fil rond de 1 mm de rayon (les résultats ne sont pas indiqués par souci de concision).
- Des mailles par défaut sont utilisées pour accélérer le calcul des tracés de la Figure E.2 et de la Figure E.3. Pour les autres figures, des maillages optimisés sont utilisés pour une plus grande précision.
- L'amplitude de champ H est indiquée par H_{x_i} où x indique que la composante de champ H étudiée est parallèle à l'axe x , alors que l'indice i correspond à la position de sonde de champ H entre le centre de la boucle et la dernière position extrême.
- Les tracés du champ H 2D sont calculés à une fréquence de 1 MHz, 0 dB se rapportant à 1 A/m.

E.3 Commentaires

A partir des simulations, les considérations suivantes sont établies:

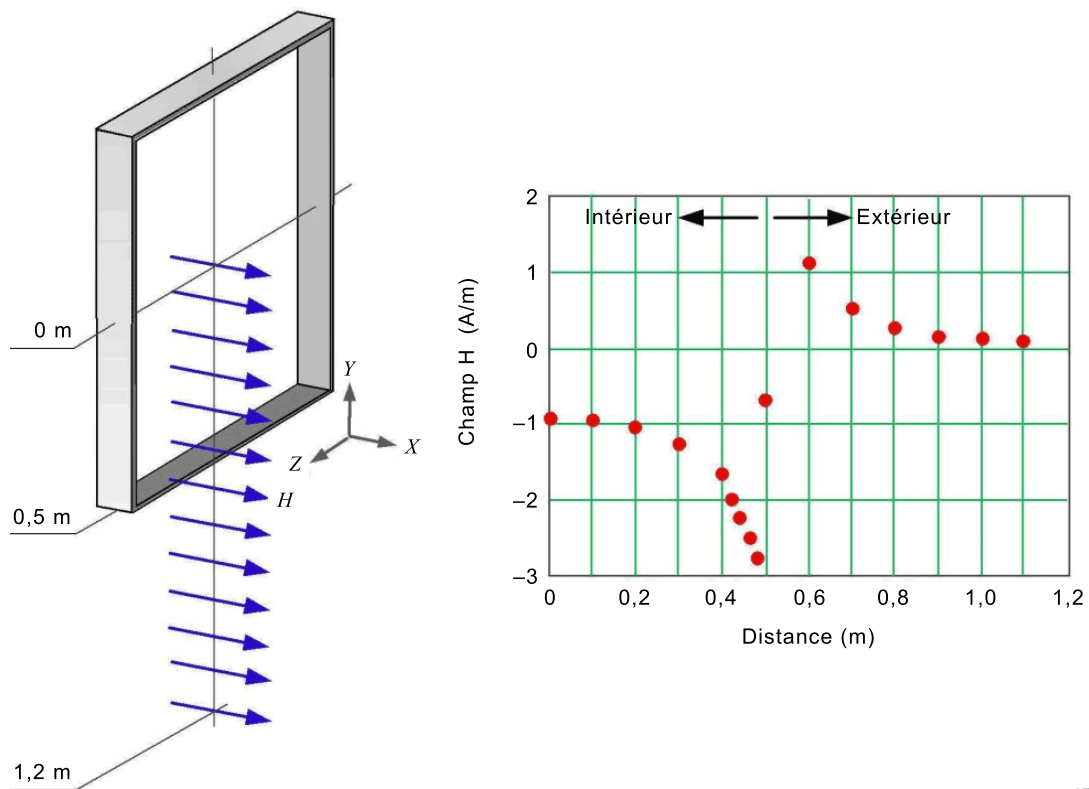
- La forme d'onde de champ H calculée est identique à celle de la source de courant de la bobine.
- Très peu de différences peuvent être notées avec des formes d'onde de champ H calculées avec deux formes de conducteur extrêmes pour la même taille de bobine.
- Au centre des bobines, le facteur de bobine d'induction est respectivement de 0,90 m⁻¹ et 0,65 m⁻¹ pour les bobines carrées et rectangulaires ce qui, d'un point de vue pratique, ne dépend pas de la forme du conducteur de bobine.
- Il est également confirmé par des simulations transitoires que la variation du champ H est inférieure à + 3 dB pour les zones présentées à l'Annexe A.
- Il est indiqué et quantifié que le champ H augmente rapidement lorsque la sonde utilisée pour le calcul du champ H approche les conducteurs de la bobine.
- La valeur du champ H à l'extérieur de la boucle est d'environ 20 dB à 40 dB (1/10 à 1/100) inférieure à celle du champ au centre de la boucle. Il convient d'en tenir compte pour la méthode d'essai de proximité.



IEC

NOTE L'amplitude du champ H_x à l'intérieur de la boucle est négative en raison des directions de sonde choisies.

Figure E.1 – Courant avec une période de $1 \mu\text{s}$ et champ H au centre de la bobine d'induction normalisée de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$



IEC

Figure E.2 – Champ H_x le long de la bobine d'induction normalisée de $1 \text{ m} \times 1 \text{ m}$ en A/m

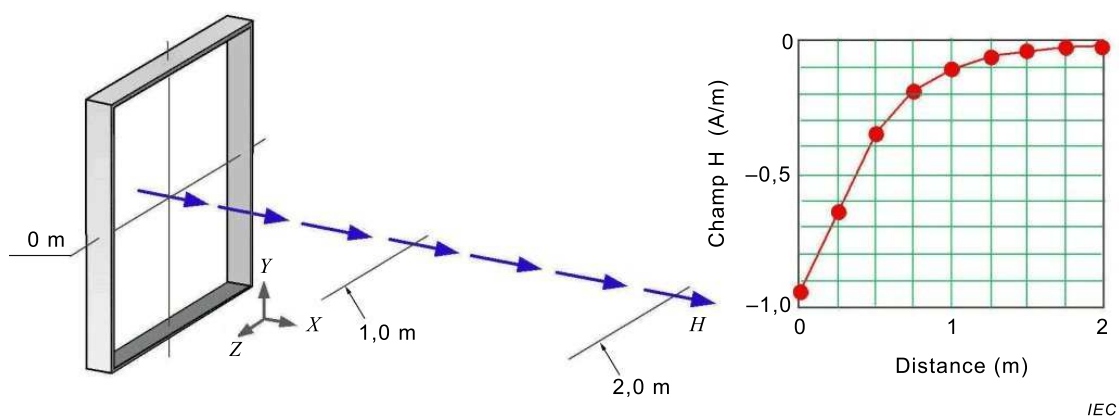


Figure E.3 – Champ H_x dans le sens x perpendiculaire au plan de la bobine d'induction normalisée de 1 m × 1 m

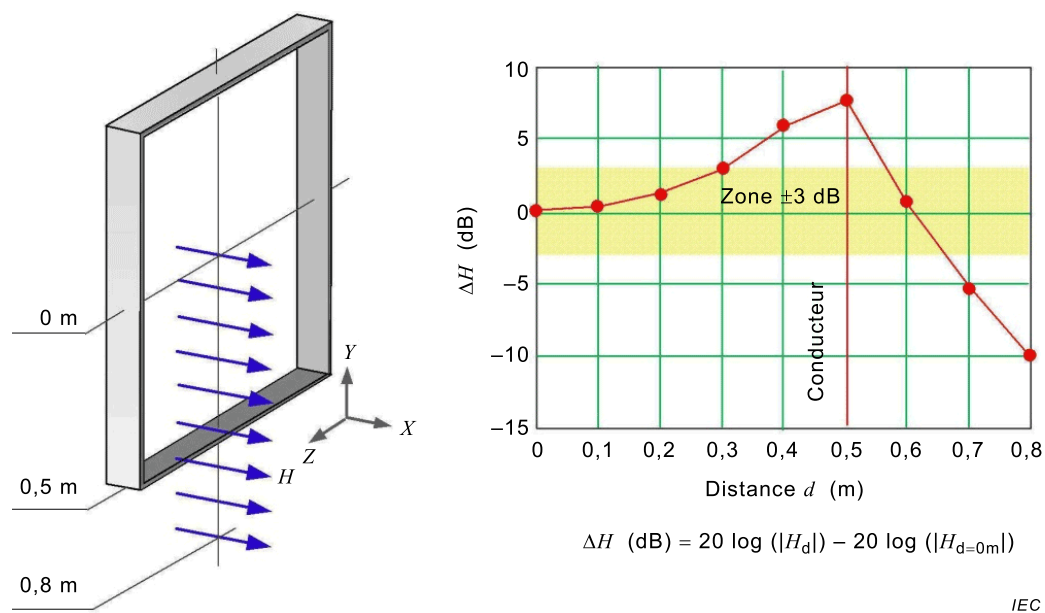


Figure E.4 – Champ H_x le long du côté, en dB, de la bobine d'induction normalisée de 1 m × 1 m

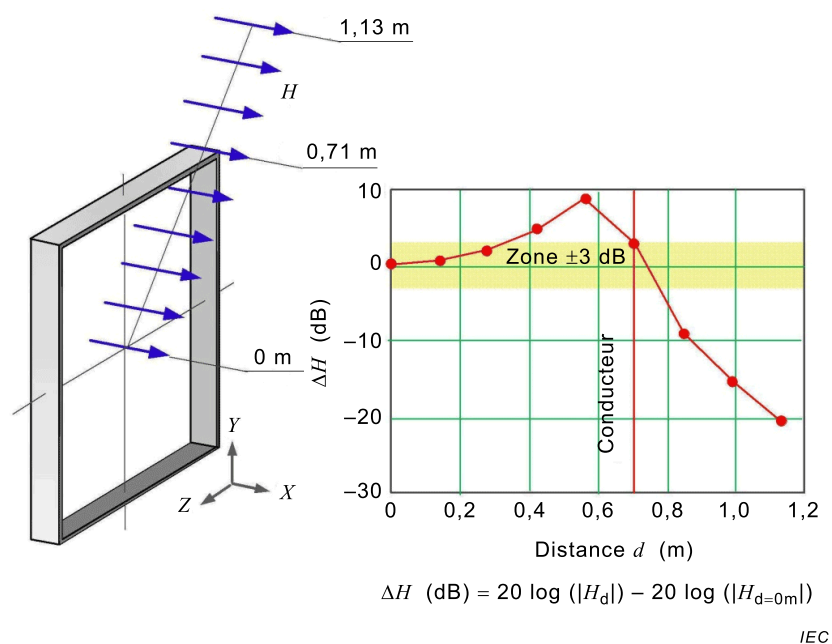


Figure E.5 – Champ H_x le long de la diagonale, en dB, de la bobine d'induction normalisée de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$

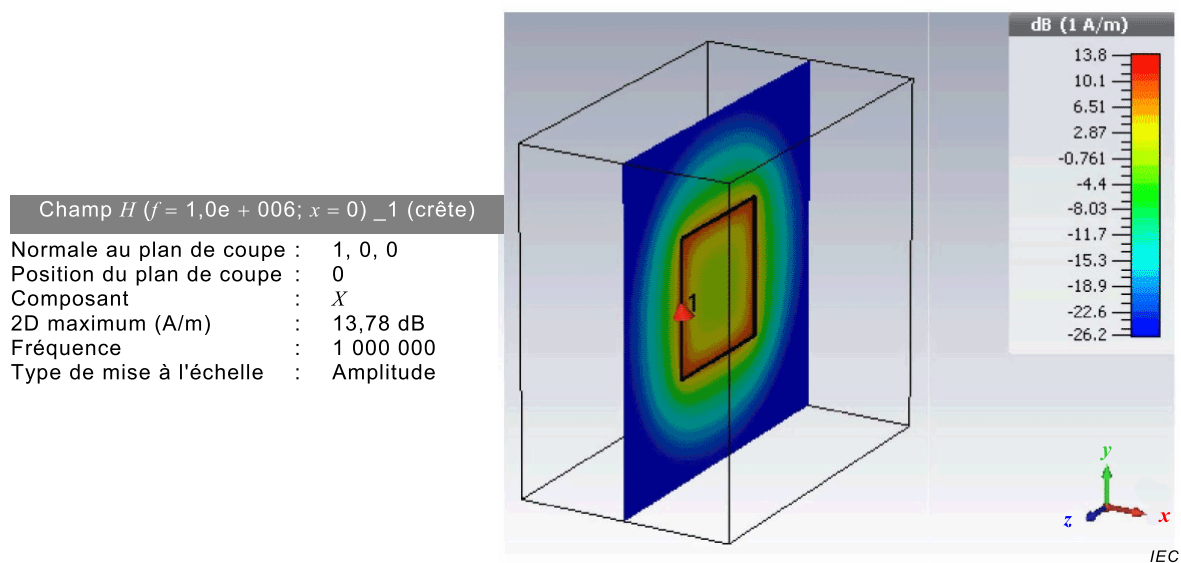


Figure E.6 – Tracé du champ H_x sur le plan y - z pour la bobine d'induction normalisée de $1\text{ m} \times 1\text{ m}$

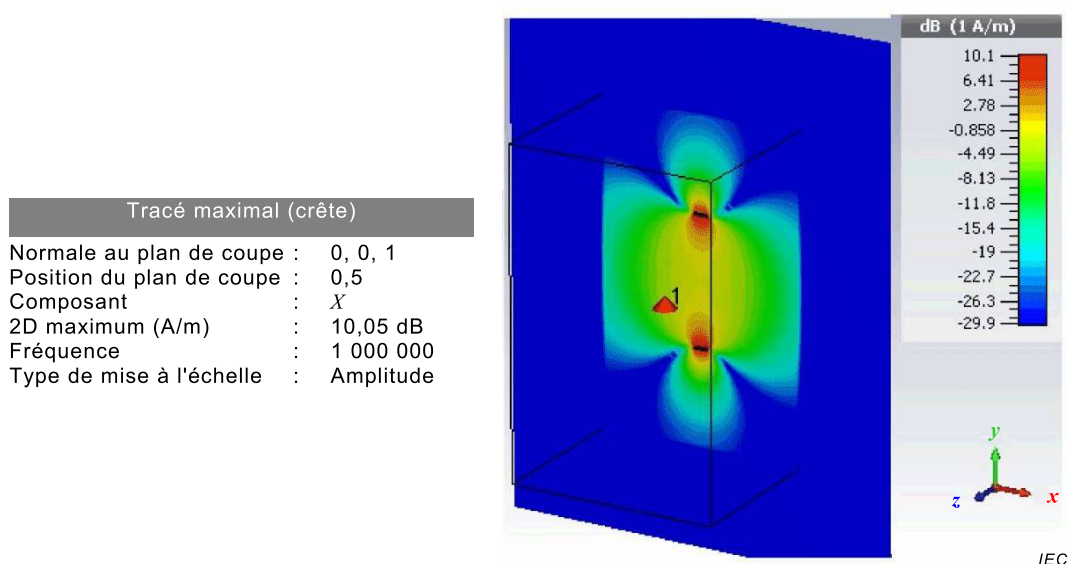


Figure E.7 – Tracé du champ H_x sur le plan x - y pour la bobine d'induction normalisée de 1 m $\times$ 1 m

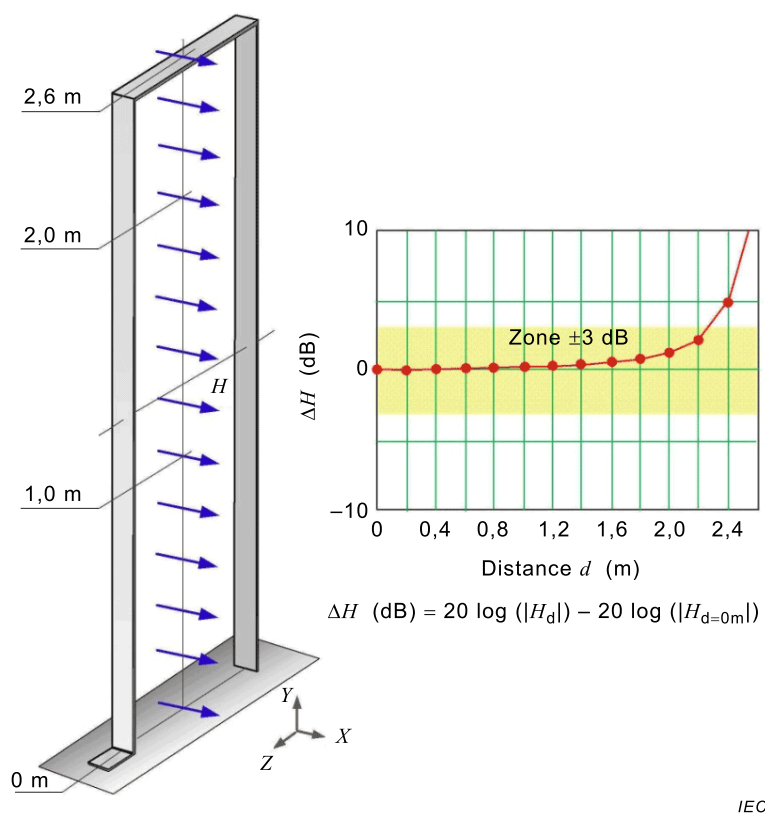


Figure E.8 – Champ H_x le long de la ligne médiane verticale, en dB, de la bobine d'induction normalisée de 1 m $\times$ 2,6 m

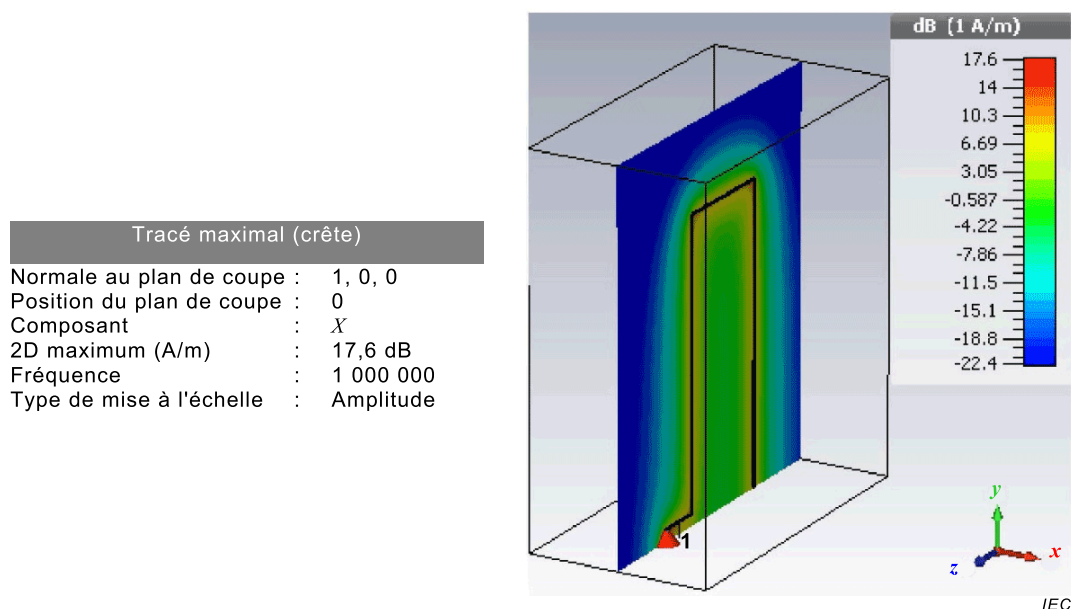


Figure E.9 – Tracé 2D du champ H_x sur le plan y - z pour la bobine d'induction normalisée de 1 m $\times$ 2,6 m

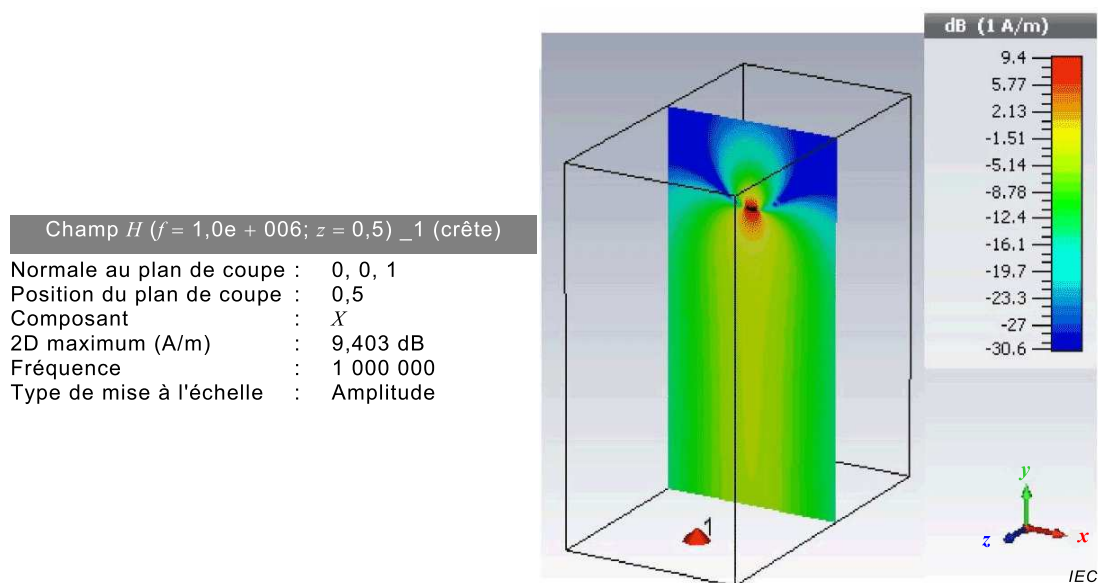


Figure E.10 – Tracé 2D du champ H_x sur le plan x - y à $z = 0,5$ m pour la bobine d'induction normalisée de 1 m $\times$ 2,6 m

Bibliographie

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

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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