

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC EMC PUBLICATION
PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Electromagnetic compatibility (EMC) –
Part 4-39: Testing and measurement techniques – Radiated fields in close
proximity – Immunity test**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-39: Techniques d'essai et de mesure – Champs rayonnés à proximité –
Essai d'immunité**



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2017 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 16 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 16 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.



IEC 61000-4-39

Edition 1.0 2017-03

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



BASIC EMC PUBLICATION
PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Electromagnetic compatibility (EMC) –
Part 4-39: Testing and measurement techniques – Radiated fields in close
proximity – Immunity test**

**Compatibilité électromagnétique (CEM) –
Partie 4-39: Techniques d'essai et de mesure – Champs rayonnés à proximité –
Essai d'immunité**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.100.20

ISBN 978-2-8322-4082-3

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

CONTENTS

FOREWORD.....	5
INTRODUCTION.....	7
1 Scope.....	10
2 Normative references	10
3 Terms, definitions and abbreviated terms	11
3.1 Terms and definitions.....	11
3.2 Abbreviated terms.....	12
4 General	13
5 Test levels.....	14
5.1 General.....	14
5.2 Test frequencies	14
5.3 Test levels in the frequency range of 9 kHz to 150 kHz	15
5.4 Test levels in the frequency range of 150 kHz to 26 MHz	16
5.5 Test levels in the frequency range of 26 MHz to 380 MHz	16
5.6 Test levels in the frequency range of 380 MHz to 6 GHz	16
6 Test equipment.....	18
6.1 Magnetic field immunity	18
6.1.1 General	18
6.1.2 Magnetic field immunity 9 kHz to 150 kHz.....	18
6.1.3 Magnetic field immunity 150 kHz to 26 MHz.....	19
6.2 Radiated RF field immunity	19
6.2.1 Field generating devices, 26 MHz to 380 MHz	19
6.2.2 Field generating devices, 380 MHz to 6 GHz	19
7 Test setup	20
7.1 Magnetic field immunity	20
7.1.1 Test facility	20
7.1.2 Arrangement of equipment under test	20
7.1.3 Test method using radiating loop	22
7.2 Radiated RF field immunity	22
7.2.1 Test facility	22
7.2.2 Arrangement of equipment under test	22
8 Test procedure	23
8.1 General.....	23
8.2 Climatic conditions.....	23
8.3 Electromagnetic conditions	24
8.4 Arrangement and operating modes of the EUT	24
8.5 Magnetic field immunity	24
8.5.1 Level setting procedure 9 kHz to 150 kHz.....	24
8.5.2 Level setting procedure 150 kHz to 26 MHz.....	24
8.5.3 Execution of the test.....	25
8.6 Radiated RF field immunity	27
8.6.1 Level setting procedure	27
8.6.2 Execution of test.....	27
9 Evaluation of test results	30

10	Test report.....	30
	Annex A (normative) TEM horn antenna.....	32
	A.1 General.....	32
	A.2 Frequency range.....	32
	A.3 VSWR.....	32
	A.4 Field distribution	32
	A.5 General design for TEM horn antenna.....	34
	Annex B (informative) Test frequencies, levels and modulations	36
	B.1 General.....	36
	B.2 Magnetic emitters in the range from 9 kHz to 26 MHz	36
	B.3 Radio services in the range from 26 MHz to 6 GHz	36
	Annex C (informative) In situ testing	39
	C.1 General.....	39
	C.2 Test procedure.....	39
	C.3 Test report	39
	Bibliography.....	40
	Figure 1 – Overview showing the test methods that could be used for evaluating equipment immunity to disturbances from RF transmitters	13
	Figure 2 – Close-proximity test methods addressed in this document.....	14
	Figure 3 – Definition of the 80 % amplitude-modulated (AM) test level and the waveshapes occurring at the output of the signal generator	15
	Figure 4 – Example of the pulse-modulated (50 % duty cycle, 217 Hz) test level and the waveshapes occurring at the output of the signal generator	17
	Figure 5 – Example of equipment testing on floor-standing EUT using radiating loop antenna – Frequency range 9 kHz to 150 kHz (100 mm x 100 mm window size)	21
	Figure 6 – Example of equipment testing on floor-standing EUT using radiating loop antenna – Frequency range 150 kHz to 26 MHz (80 mm x 80 mm window size)	21
	Figure 7 – Principle of equipment testing on floor-standing EUT using TEM horn antenna	23
	Figure 8 – Radiating loop level setting	25
	Figure 9 – Principle of equipment testing with radiating loop	26
	Figure 10 – Example of the test pattern using a 300 mm x 300 mm window size for the uniform area	28
	Figure 11 – Arrangement of level setting.....	29
	Figure 12 – Example of TEM horn antenna orientations	30
	Figure A.1 – Example of field uniformity verification setup	33
	Figure A.2 – Field uniformity measurement setup	34
	Figure A.3 – Example of field uniformity at 1,5 GHz (simulated) for TEM horn antenna having an aperture dimension of 205 mm x 205 mm.....	34
	Figure A.4 – Example of general design principle of TEM horn antenna	35
	Table 1 – Test levels for inhomogeneous magnetic fields, 9 kHz to 150 kHz	15
	Table 2 – Test levels for inhomogeneous magnetic fields, 150 kHz to 26 MHz	16
	Table 3 – Test levels for RF fields from transmitters used in close proximity, 380 MHz to 6 GHz	17

Table 4 – Definition of window size and test distance.....22
Table 5 – Maximum frequency steps size, magnetic field immunity test26
Table B.1 – Guidance on test levels of certain RF wireless communications equipment37

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 4-39: Testing and measurement techniques –
Radiated fields in close proximity –
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 61000-4-39 has been prepared by subcommittee 77B: High frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

It forms Part 4-39 of the IEC 61000 series. It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107.

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

FDIS	Report on voting
77B/769/FDIS	77B/772/RVD

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

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

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 web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

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

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

INTRODUCTION

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

Part 1: General

General considerations (introduction, fundamental principles)

Definitions, terminology

Part 2: Environment

Description of the environment

Classification of the environment

Compatibility levels

Part 3: Limits

Emission limits

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

Part 4: Testing and measurement techniques

Measurement techniques

Testing techniques

Part 5: Installation and mitigation guidelines

Installation guidelines

Mitigation methods and devices

Part 6: Generic standards

Part 9: Miscellaneous

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

Particular considerations for IEC 61000-4-39

This part of IEC 61000 is an international standard which gives immunity requirements and test procedures related to radiated disturbances caused by radio-frequency fields from devices used in close proximity.

It is impossible to ignore that the everyday electromagnetic environment has greatly changed. Not long ago, handheld, frequency-modulated (FM) transceivers for business, public safety, and amateur radio communications represented the predominant RF applications. Distribution was limited (for example, by licenses) and in most cases the radiating antennas were outside buildings to get a high efficiency. The situation changed once technology allowed the manufacturing of compact wireless phones with low weight and a reasonable price. Wireless services (DECT, mobile phones, UMTS/WiFi/WiMAX/ Bluetooth¹, baby monitors, etc.) have

¹ Bluetooth is the trade name of a product supplied by Bluetooth SIG. This information is given for the convenience of users of this document and does not constitute an endorsement by IEC of this product. Equivalent products may be used if they can be shown to lead to the same results.

come into widespread use and acceptance. Recognizing the fact that equipment for these new technologies could have the antenna inside the building and even inside the device housing and be omnipresent in nearly any setting including at work, in the home and in public transportation creates new situations for exposure of equipment to RF energy.

With the new digital technologies, the traditional modulation methods of AM and FM has given way to digital modulations with a variety of different amplitude and bandwidth characteristics. While overall time-averaged transmit power levels might have generally decreased over time due to improved network density and migration of services, the maximum possible (peak pulse) power levels in other bands have increased significantly. Moreover, the incorporation of multiple transmitting antennas (to support for example WiFi and Bluetooth links), evolving form factors, higher bit rates to facilitate data transfer and Internet access and the use of wireless headsets have resulted in a more complex and diverse pattern of use and exposure. Increased portability of transmitting devices has also drastically reduced the separation distance between sources of radiated RF energy and equipment likely to be disturbed by that energy.

It should be expected that the wireless technology revolution will continue to evolve with new applications using increasingly higher microwave frequencies.

Immunity testing according to existing standards, such as IEC 61000-4-3, 61000-4-20, 61000-4-21 and 61000-4-22, may not be suitable to assess compatibility with the complex electric and magnetic fields generated by RF emitters located in close proximity (for example, within a few centimetres) of the surface of electronic equipment. The power levels required for the higher disturbance intensities associated with such very small separation distances may make application of some of the existing test standards quite challenging or cost prohibitive.

New technologies use also magnetic fields. The fields are inhomogeneous and vary appreciably in both magnitude and direction over a region of space. Typically they can be generated by motors, power transformers, switching power supplies, higher-powered electronic article surveillance (EAS) gates or transmitters of radio-frequency identification (RFID) systems, inductive charging systems and near field communication (NFC) devices. The fields from such sources decrease rapidly as the distance from the source increases.

Because these new technologies use a very large range of the frequency spectrum it is necessary to use different test methods which consider the physical behavior of magnetic coupling in the lower frequency range and the more electrical based characteristic in the higher frequency range. Additionally, the widely diverging physical and electrical characteristics of equipment types that may be affected by portable transmitters in close proximity, as well as the applications for which such equipment is used, indicate a need for multiple test methods.

At present this document covers magnetic field disturbance sources in the frequency range 9 kHz to 26 MHz. In the frequency range 26 MHz to 380 MHz no testing is yet defined. In the frequency range 380 MHz to 6 GHz testing using a TEM horn antenna is defined. It has been argued that especially in the frequency range above 380 MHz the specified test methods do not take into consideration the possible variations in field impedance from real life close proximity transmitters, which may represent sources having field impedances far below the far field impedance of 377Ω (predominantly magnetic field sources) and far above 377Ω (predominantly electrical field sources). In the frequency range above 380 MHz the signal wavelength is such that the reactive nearfield from the source begins at only a few centimeters from the source (around approximately $0,1 \lambda$). At this distance the field impedance approximates more and more to the far field impedance of 377Ω . The TEM horn antenna represents a field source which is not far from 377Ω .

Activities are ongoing to identify antenna types that can be characterised by field impedance and radiation pattern over a specified illumination window size, which for the ease of testing should be as large as possible and should preferably cover a large frequency range. Antenna types that are not covered by manufacturer's intellectual property rights, and which can be unambiguously characterised by for instance near field scanning or numerical model characterisation, are preferred for the present basic standard.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 4-39: Testing and measurement techniques – Radiated fields in close proximity – Immunity test

1 Scope

This part of IEC 61000 specifies immunity requirements for electrical and electronic equipment when it is exposed to radiated electromagnetic energy from RF transmitters used in close proximity. It establishes test levels and the required test procedures. The applicable frequency range is 9 kHz to 6 GHz. Fixed-installation equipment being exposed to portable transmitting devices, mobile equipment exposed to fixed transmitting devices and mobile equipment exposed to other mobile transmitting devices are considered.

The object of this document is to establish a common reference for evaluating the immunity requirements of electrical and electronic equipment that is exposed to radiated, RF electromagnetic fields from sources at close distances. It is understood that this part of IEC 61000 does not replace general immunity requirements of electrical and electronic equipment to radiated electromagnetic energy as given in IEC 61000-4-3 and other parts of IEC 61000 and that it is only applicable if an equipment or system is exposed to disturbance sources in close proximity.

In the context of this document, “close proximity” generally refers to a separation distance between the source and victim equipment of less than or equal to 200 mm for frequencies greater than 26 MHz and 500 mm for frequencies lower than 26 MHz.

The test methods documented in this part of IEC 61000 describe consistent methods to assess the immunity of an equipment or system against a defined phenomenon in the respective frequency range. Product committees would consider the applicability of the test and then if necessary select the applicable test method depending on the EUT, frequency range, disturbance source, etc.

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 should be 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 tests for their products.

This document deals with immunity tests related to RF magnetic and electromagnetic fields from any source used in close proximity to other electrical or electronic equipment or systems.

This document is an independent test method. Other test methods should not be used as substitutes for claiming compliance with this document.

2 Normative references

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

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

3 Terms, definitions and abbreviated terms

3.1 Terms and definitions

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

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

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

NOTE Where the terms “voltage” and “current” are used in this document, they mean the r.m.s. values of an alternating or direct voltage or current unless stated otherwise.

3.1.1

electromagnetic compatibility EMC

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

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-07]

3.1.2

electromagnetic disturbance

any electromagnetic phenomenon which can degrade the performance of a device, equipment or system or adversely affect living or inert matter.

Note 1 to entry: An electromagnetic disturbance can be electromagnetic noise, an unwanted signal or a change in the propagation medium itself.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-05]

3.1.3

(electromagnetic) emission

phenomenon by which electromagnetic energy emanates from a source

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-08]

3.1.4

electromagnetic environment

totality of electromagnetic phenomena existing at a given location

Note 1 to entry: In general, the electromagnetic environment is time dependent and its description may need a statistical approach.

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

3.1.5

far field

that region of the electromagnetic field of an antenna wherein the predominant components of the field are those which represent a propagation of energy and wherein the angular field distribution is essentially independent of the distance from the antenna

Note 1 to entry: In the far field region, all the components of the electromagnetic field decrease in inverse proportion to the distance from the antenna.

Note 2 to entry: For a broadside antenna having a maximum overall dimension D which is large compared to the wavelength λ , the far field region is commonly taken to exist at distances greater than $2D^2/\lambda$, from the antenna in the direction of maximum radiation.

[SOURCE: IEC 60050-712:1992, 712-02-02, modified – the word "region" has been removed from the term.]

**3.1.6
field strength**

electric or magnetic component of the field

Note 1 to entry: Field strength may be expressed as V/m or A/m.

Note 2 to entry: For measurements made in the near field, the term "electric field strength" or "magnetic field strength" is used according to whether the resultant electric or magnetic field, respectively, is measured. In this field region, the relationship between the electric and magnetic field strength and distance is complex and difficult to predict, being dependent on the specific configuration involved. Inasmuch as it is not generally feasible to determine the time and space phase relationship of the various components of the complex field, the power flux density of the field is similarly indeterminate.

**3.1.7
immunity (to a disturbance)**

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

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

**3.1.8
immunity test level**

the level of a test signal used to simulate an electromagnetic disturbance when performing an immunity test

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-04-41]

**3.1.9
reactive near field (region)
near field**

that region of space immediately surrounding an antenna, where the predominant components of the electromagnetic field are those which represent an exchange of reactive energy between the antenna and the surrounding medium

[SOURCE: IEC 60050-712:1992, 712-02-01, modified – in the term, "induction field (region)" has been replaced by "near field".]

**3.1.10
polarisation**

orientation of the electric field vector of a radiated field

**3.1.11
radio frequency
RF**

frequency in the portion of the electromagnetic spectrum that is between the audio-frequency portion and the infrared portion and that is useful for radio transmission

3.2 Abbreviated terms

For the purposes of this document, the following abbreviated terms apply.

CDMA	Code division multiple access
DECT	Digital Enhanced Cordless Telecommunication
EAS	Electronic article surveillance
EUT	Equipment under test
FRS	Family radio service

GMRS	General mobile radio service
GSM	Global system for mobile communication
iDEN	integrated digital enhanced network
LTE	Long term evolution
NFC	Near field communication
RFID	Radio-frequency identification
TEM	transverse electromagnetic
TETRA	Trans-European trunked radio
UMTS	Universal Mobile Telecom System
VSWR	Voltage standing wave ratio
WiMAX	Worldwide interoperability for microwave access
WLAN	Wireless local area network

4 General

Immunity of EUTs to disturbances from RF transmitters can be tested using several different methods, including those described in IEC 61000-4-3, IEC 61000-4-20, IEC 61000-4-21, IEC 61000-4-22 and this part of IEC 61000, as shown in Figure 1. This part of IEC 61000 describes test methods unique to the situation in which the transmitter is used in close proximity to the EUT and the case of inhomogeneous magnetic fields (see Figure 2). In this context, “close proximity” generally refers to separation distances between the transmitter and the equipment of 200 mm or less for RF fields (frequencies greater than 26 MHz) and 500 mm for magnetic fields (frequencies lower than 26 MHz). Fixed-installation equipment being exposed to portable transmitting devices, mobile equipment exposed to fixed transmitting devices and mobile equipment exposed to other mobile transmitting devices are considered.

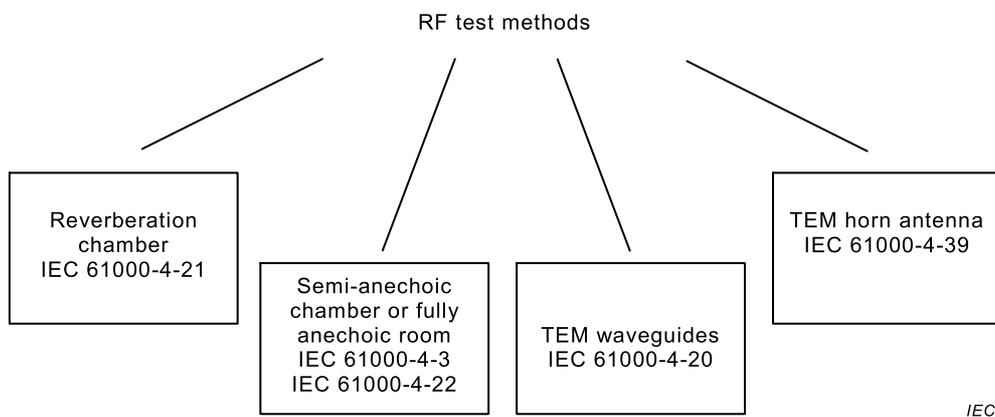


Figure 1 – Overview showing the test methods that could be used for evaluating equipment immunity to disturbances from RF transmitters

IEC 61000-4-39 test methods

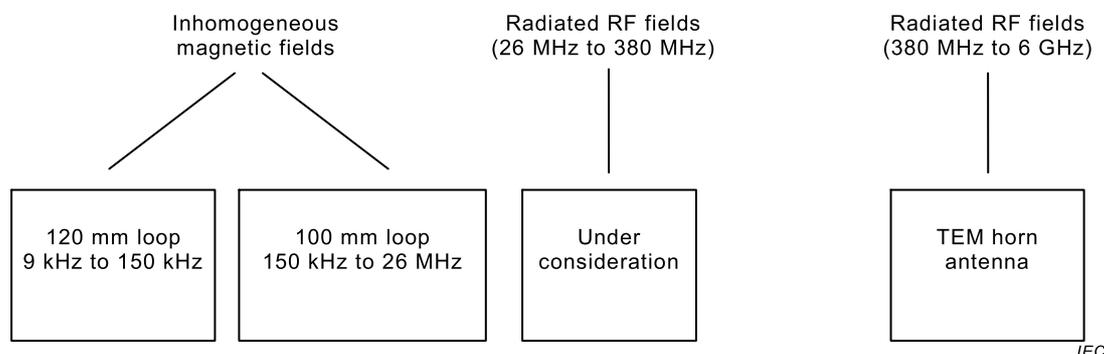


Figure 2 – Close-proximity test methods addressed in this document

5 Test levels

5.1 General

The electromagnetic disturbances considered in this document are limited to continuous narrowband signals (which may be pulse- or amplitude-modulated by up to 1 kHz) but do not include disturbance signals that are basically transient or impulsive in nature (as, for instance, electromagnetic pulse). The frequencies or frequency bands to be selected for testing are limited to those where intentional RF emitting devices actually operate.

The test level applied during testing should be selected in accordance with the expected maximum output power of the transmitting device and the likely, or specified, separation distance between its transmitting antenna and the equipment subject to the disturbance created by the transmitting device. Additional information can be found in Annex B.

5.2 Test frequencies

It is not intended that the test be applied continuously over the entire frequency range covered by this document. Rather, the frequency ranges to be tested shall be defined (for example by the product committees) according to those frequencies where interference from intentional transmitters in close proximity is expected to occur.

The applied test signal shall be stepped within each frequency range, according the following conditions:

- a) Frequency stepping is defined using linear steps in the frequency range below 26 MHz (see Table 5 in 8.5.3).
- b) Above 26 MHz the frequency steps are defined as 1 % of actual frequency, unless testing is performed in specific radio transmission bands.
- c) Additionally testing at spot frequencies may be performed at any frequency/frequencies of interest.
- d) If the testing is performed in a specific radio transmission band, the starting point for the frequency steps is chosen as the center frequency of the selected range. Testing is then performed at the step frequencies higher than the center frequency using step sizes of 1 % of the actual frequency. Testing is also performed at frequencies lower than the center frequency using step sizes of -1 % of actual frequency.

It is recommended to analyse potentially sensitive frequencies (for example clock frequencies) separately, provided that these frequencies are within the frequency range to be tested.

5.3 Test levels in the frequency range of 9 kHz to 150 kHz

Test levels for inhomogeneous magnetic fields in the frequency range of 9 kHz to 150 kHz are given in Table 1.

Table 1 – Test levels for inhomogeneous magnetic fields, 9 kHz to 150 kHz

Level	Test field strength A/m
1	1
2	3
3	10
4	30
X	Special

NOTE X is an open test level and the associated field strength can be any value. This level can be given in the product standard.

The test levels given in Table 1 are the amplitudes of the unmodulated carrier signal for level setting. For testing of equipment, this carrier signal is 80 % amplitude modulated with a 1 kHz sinewave to simulate actual disturbance sources (see Figure 3 and Clause B.2). Details of how the test is performed are given in Clause 8.

NOTE Product committees can select alternative modulation schemes for equipment under test.

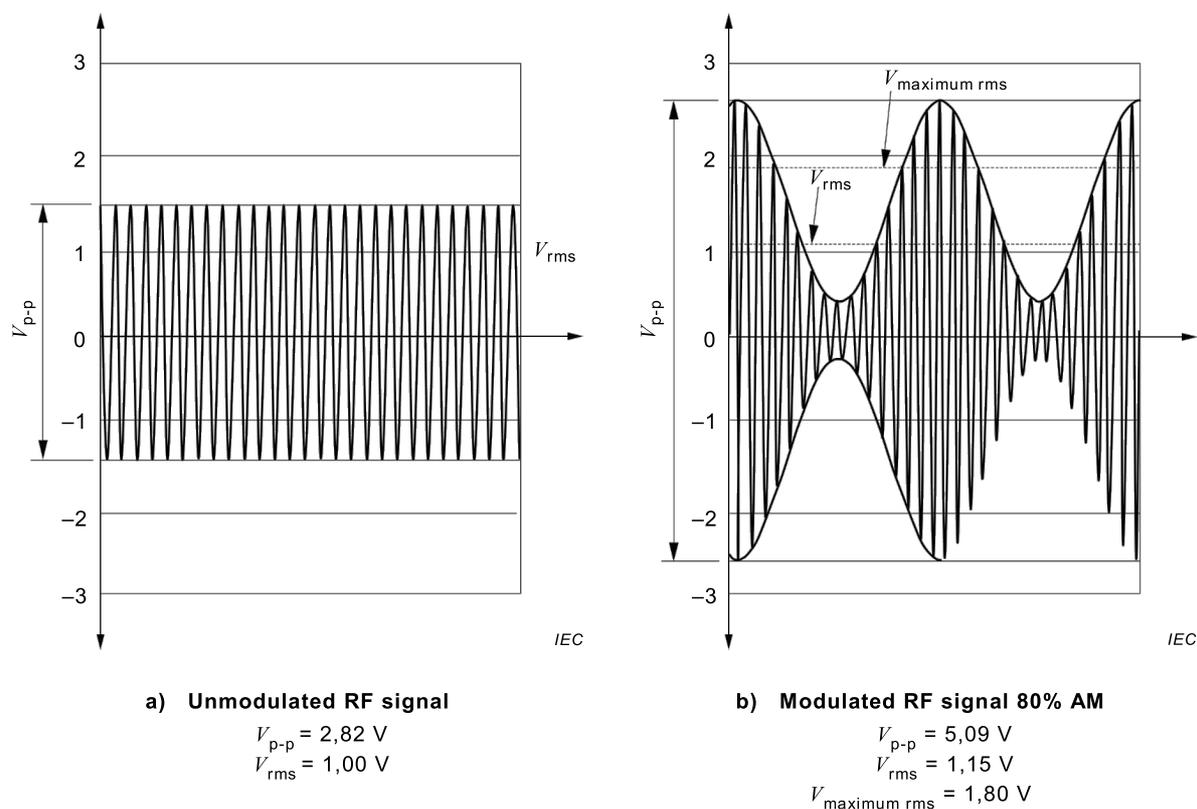


Figure 3 – Definition of the 80 % amplitude-modulated (AM) test level and the waveshapes occurring at the output of the signal generator

5.4 Test levels in the frequency range of 150 kHz to 26 MHz

Test levels for inhomogeneous fields in the frequency range of 150 kHz to 26 MHz are given in Table 2.

Table 2 – Test levels for inhomogeneous magnetic fields, 150 kHz to 26 MHz

Level	Test field strength A/m
1	0,1
2	0,3
3	1
4	3
X	Special
NOTE X is an open test level and the associated field strength can be any value. This level can be given in the product standard.	

NOTE The test levels in Table 2 differ from Table 1 since they are based on the types of equipment and services that create disturbances in the two different frequency ranges.

Annex B is intended to provide guidance on the selection of test levels (see also the last paragraph of 5.1).

The test levels given in Table 2 are the amplitudes of the unmodulated carrier signal for level setting. For testing of equipment this carrier signal is modulated using pulse modulation (see Figure 4 and Clause B.2). The pulse modulation shall adhere to the following parameters:

- duty cycle: 50 %
- modulation frequency: 2 Hz or 1 kHz
- on/off ratio: 20 dB minimum

The modulation frequency shall be selected by product committees, as appropriate. Details of how the test is performed are given in Clause 8.

5.5 Test levels in the frequency range of 26 MHz to 380 MHz

Test levels for RF fields in the frequency range of 26 MHz to 380 MHz are under consideration.

5.6 Test levels in the frequency range of 380 MHz to 6 GHz

Test levels for RF fields in the frequency range of 380 MHz to 6 GHz are given in Table 3.

Table 3 – Test levels for RF fields from transmitters used in close proximity, 380 MHz to 6 GHz

Level	Test field strength V/m
1	10
2	30
3	100
4	300
X	Special

NOTE X is an open test level and the associated forward power can be any value. This level can be given in the product standard.

The test levels given in Table 3 are the amplitudes of the unmodulated carrier signal for level setting. For testing of equipment this carrier signal is modulated using pulse modulation (see Figure 4). The pulse modulation shall adhere to the following parameters:

- duty cycle: 50 %
- modulation frequency: 2 Hz, 217 Hz or 1 kHz
- on/off ratio: 20 dB minimum

The modulation frequency shall be selected by product committees, as appropriate.

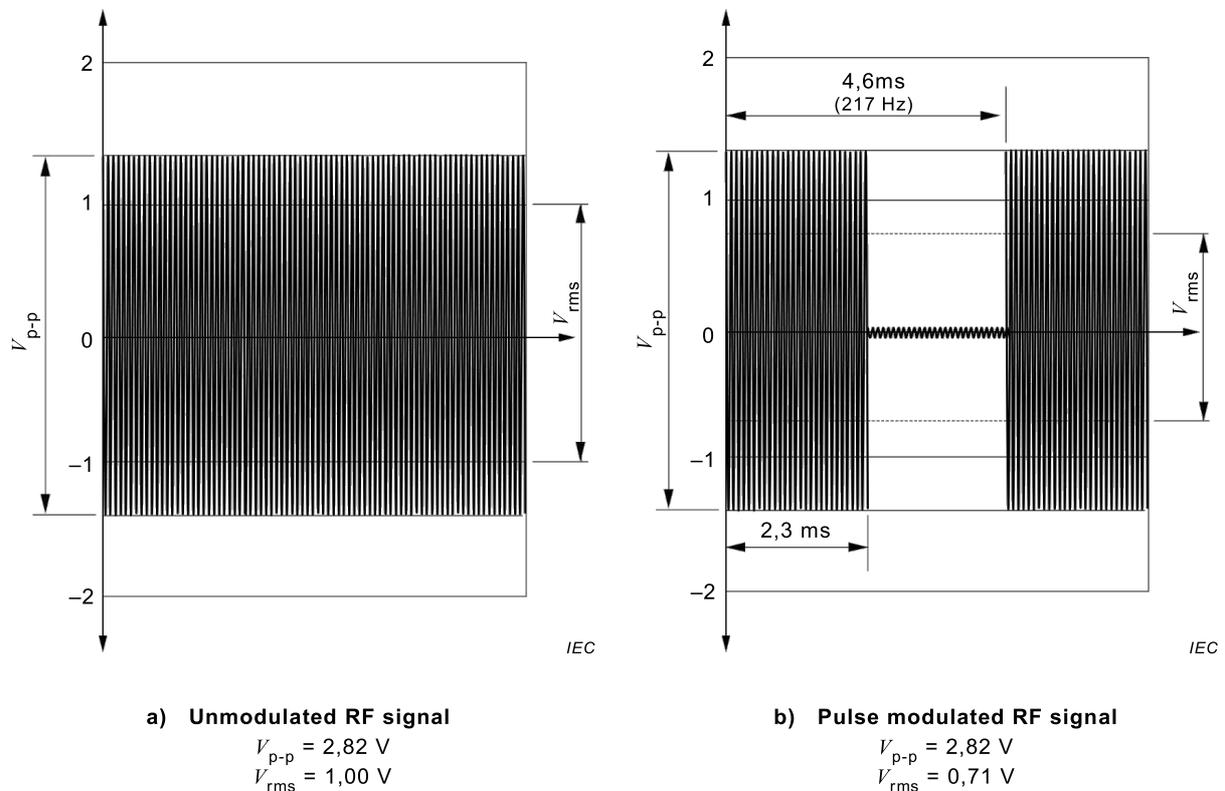


Figure 4 – Example of the pulse-modulated (50 % duty cycle, 217 Hz) test level and the waveshapes occurring at the output of the signal generator

This document does not suggest that a single test level is applicable over the entire frequency range. Product committees shall select the appropriate test level for each frequency range needed for testing.

6 Test equipment

6.1 Magnetic field immunity

6.1.1 General

The test equipment shall consist of the following:

- signal generator with internal or external modulation capability;
- power amplifier (capable of driving an inductive load);
- field generating device: radiating loop, (6.1.2.1 or 6.1.3.1)
- magnetic field sensor loop, (6.1.2.3 or 6.1.3.2);
- voltmeter;
- current probe (6.1.2.2).

6.1.2 Magnetic field immunity 9 kHz to 150 kHz

6.1.2.1 Field generating device – Radiating loop

The coil shall have the following characteristics:

- diameter: (120 ± 10) mm
- number of turns: 20
- wire diameter: approximately 2,0 mm (AWG12)

The radiating loop of MIL-STD-461G:2015 (test RS101), is recommended.

The unperturbed magnetic field at a distance of 50 mm from the plane of the loop is given by Formula (1):

$$H = 75,6 \times I \text{ (A/m)} \text{ (which equals } 9,5 \cdot 10^7 \text{ pT/A, as stated in test RS101)} \quad (1)$$

where

H is the magnetic field strength (A/m);

I is the current (A).

The radiating loop shall be characterized over the frequency range, if no correction factor is available from the manufacturer of the coil (see 8.5.1). The frequency dependent characteristics of the magnetic field sensor shall be considered in determining the calculated current value for the equipment test.

6.1.2.2 Current probe

If the magnetic field strength is verified by current measurement, the current probe shall ensure that true r.m.s. current measurement is made within the frequency range 9 kHz to 150 kHz, either by using a clamp-on probe or by measuring voltage across a series resistor. An oscilloscope, a true r.m.s. AC voltmeter or a true r.m.s. AC current meter may be used.

6.1.2.3 Magnetic field sensor loop

If the magnetic field is verified by sensor loop, it should be specified as follows:

- diameter: (40 ± 2) mm (however any magnetic field sensor having a diameter of less than 40 mm may be used)
- number of turns: 51
- wire diameter: approximately 0,07 mm (for example, 7 strand 41 AWG)

- shielding: electrostatic
- conversion factor: see manufacturer's data for the factor to convert the sensor coil voltage to magnetic intensity

An open-circuit voltage U in the sensor loop is measured in volts by means of a high-impedance voltmeter.

6.1.3 Magnetic field immunity 150 kHz to 26 MHz

6.1.3.1 Field generating device – Radiating loop

The coil shall have the following characteristics:

- diameter: (100 ± 10) mm
- number of turns: 3
- wire diameter: approximately 1,0 mm

The radiating loop should be characterized over the frequency range (see 8.5.2). The frequency dependent characteristics of the magnetic field sensor shall be considered in determining the calculated current value for the equipment test.

6.1.3.2 Magnetic field sensor loop

A suitable magnetic field intensity monitor for this frequency range has the following specifications:

- diameter: (40 ± 2) mm (however any magnetic field sensor having a diameter of less than 40 mm may be used)
- number of turns: 1
- wire diameter: approximately 0,5 mm
- shielding: electrostatic
- correction factor: see manufacturer's data for the factor to convert the sensor coil voltage to magnetic intensity (correction factor)

6.2 Radiated RF field immunity

6.2.1 Field generating devices, 26 MHz to 380 MHz

Subclause 6.2.1 is under consideration.

6.2.2 Field generating devices, 380 MHz to 6 GHz

6.2.2.1 TEM horn antenna

A TEM horn antenna shall be used for a close proximity immunity test over the frequency range 380 MHz to 6 GHz. An example of TEM horn antenna characteristics is shown in Annex A.

When using a TEM horn antenna, the entire frequency range may be covered by one or more antennas.

6.2.2.2 Test equipment

The test equipment shall consist of the following items:

- Signal source with internal or external modulation capability.
- Power amplifier(s) to amplify signals (unmodulated and modulated) and drive the TEM horn antenna up to the necessary test level (power amplifiers capable of operating in a 50 Ω system and unconditionally stable under any load conditions). The harmonics generated by the power amplifier, up to the third harmonic, shall be at least 6 dB below that of the fundamental frequency measured at the output of the power amplifier. Data from the manufacturer of the power amplifier(s) is acceptable for demonstrating compliance with this specification.
- Directional coupler.
- Power meter (or an equivalent measuring instrument) to measure the forward power.
- Field-generating TEM horn antenna(s) as described in Annex A.
- Spacer or other means to keep the TEM horn antenna reference point at specified distance from the EUT (see test procedure). A material with low dielectric constant (low permittivity, ϵ_r , of approximately 1), such as rigid polystyrene, should be considered.
- Equipment or test facility for protection of radio services and/or of test personnel (for example, semi-anechoic chamber).
- A field strength probe. See also Annex A.

7 Test setup

7.1 Magnetic field immunity

7.1.1 Test facility

The test area should be of a suitable size to house all of the required test equipment and shall be free from disturbances that could affect the test results. The radiating loop should be at least 1 m away from any metal surfaces (generator, amplifier, simulator, auxiliary equipment, etc., except the EUT and the floor).

WARNING: The appropriate guidelines (for example national regulations, recommendations by ICNIRP, etc.) shall be followed for the protection of the test personnel.

7.1.2 Arrangement of equipment under test

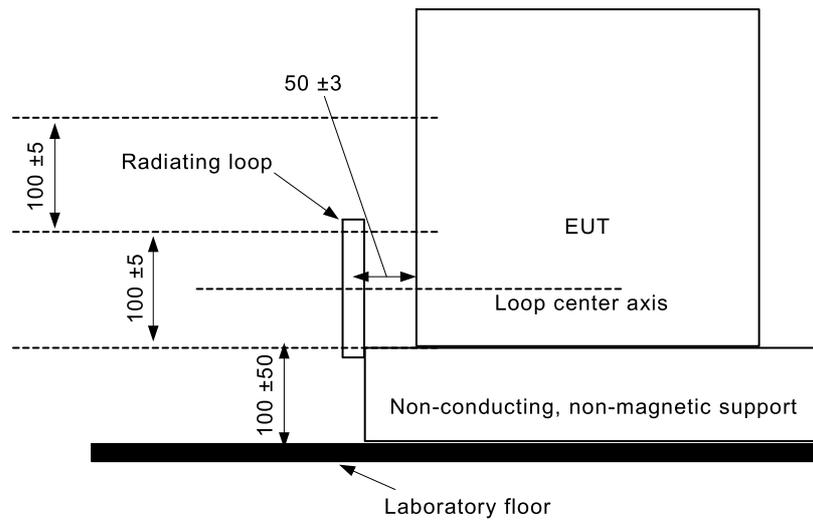
The equipment under test should be positioned as in normal use (table top or floor standing) on a non-conductive, low-permeability support and configured as specified in 8.4. Cables shall be attached to the equipment and arranged on the test site according to the manufacturer's instructions and shall replicate typical installations and use as much as possible. The manufacturer's specified cable types and connectors shall be used. If the wiring to and from the equipment is not specified, unshielded parallel conductors shall be used.

Grounding of housing or case of the equipment shall be consistent with the manufacturer's installation recommendations. If earthed and unearthed configurations are supported, both shall be tested.

Table-top, portable and wall-mounted EUTs shall be placed on a support having a height of $(0,80 \pm 0,05)$ m.

For floor standing equipment it is acceptable to test vertical surfaces down to a distance of (100 ± 50) mm above the floor (see Figures 5 and 6).

Dimensions in millimetres

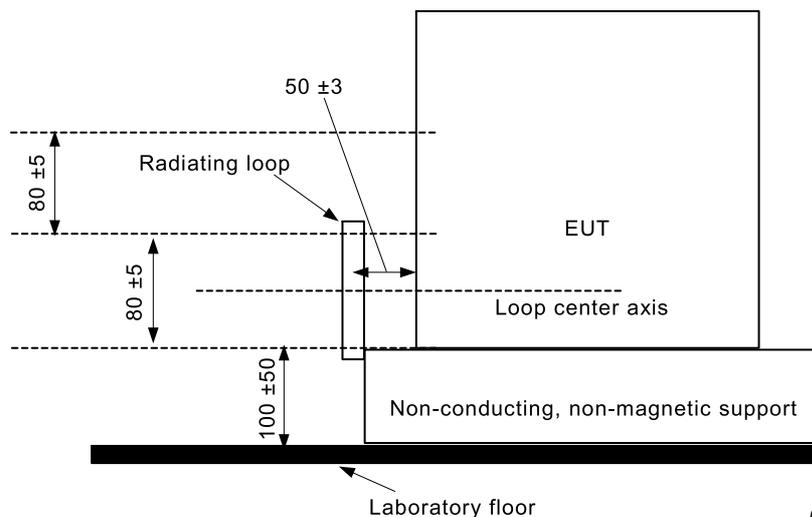


IEC

NOTE The lowest test position of the 100 mm × 100 mm windows is shown, side view.

Figure 5 – Example of equipment testing on floor-standing EUT using radiating loop antenna – Frequency range 9 kHz to 150 kHz (100 mm x 100 mm window size)

Dimensions in millimetres



IEC

NOTE The lowest test position of the 80 mm × 80 mm windows is shown, side view.

Figure 6 – Example of equipment testing on floor-standing EUT using radiating loop antenna – Frequency range 150 kHz to 26 MHz (80 mm x 80 mm window size)

Floor-standing EUTs should be placed on a support having a height of (100 ± 50) mm. Non-conductive, low-permeability rollers may be used as the (100 ± 50) mm high support.

7.1.3 Test method using radiating loop

The test configuration should be as shown in Figure 9 (8.5.3). Each face subject to illumination by magnetic fields in the normal use position of the equipment shall be partitioned into equal areas for the test as specified in Table 4. Deviation for the tolerance on the test distance (i.e., greater than 3 mm tolerance) is allowed in cases where the 3 mm tolerance cannot be maintained easily due to details of a particular EUT or test setup (for example, EUT surfaces that are not flat). Any such deviations shall be documented in the test report.

Table 4 – Definition of window size and test distance

Frequency range	Maximum window size mm	Test distance d mm
9 kHz to 150 kHz (120 mm loop antenna)	100 x 100	50 ± 3
150 kHz to 26 MHz (100 mm loop antenna)	80 x 80	50 ± 3

The radiating loop shall be positioned at the specified distance (d) from the centre of each of these areas and parallel to the face of the EUT.

7.2 Radiated RF field immunity

7.2.1 Test facility

Because of the magnitude of the field strengths generated, the tests shall be made in a shielded enclosure to comply with various national and international laws prohibiting interference to radio communications. In addition, since most test equipment used to collect data is sensitive to the local ambient electromagnetic field generated during the execution of the immunity test, the shielded enclosure provides the necessary "barrier" between the EUT and the required test instrumentation. Care shall be taken to ensure that any interconnecting wiring penetrating the shielded enclosure adequately attenuates the conducted and radiated emission and preserves the integrity of the EUT signal and power responses.

The test facility typically consists of an absorber-lined shielded enclosure large enough to accommodate the EUT whilst allowing adequate control over the field strengths.

The test area should be of a suitable size to house all of the required test equipment and shall be free from disturbances that could affect the test results. To minimize the effect of the walls and ceiling, the minimum distance between the surfaces of the EUT and walls and ceiling of test facility shall be greater than 0,8 m.

All test equipment, except for the TEM horn antenna, shall be at least 0,8 m away from the EUT.

7.2.2 Arrangement of equipment under test

The EUT shall be tested in a configuration that is representative of the most critical applications or operation of the EUT as determined, for example, by using pretesting, engineering analysis or risk analysis.

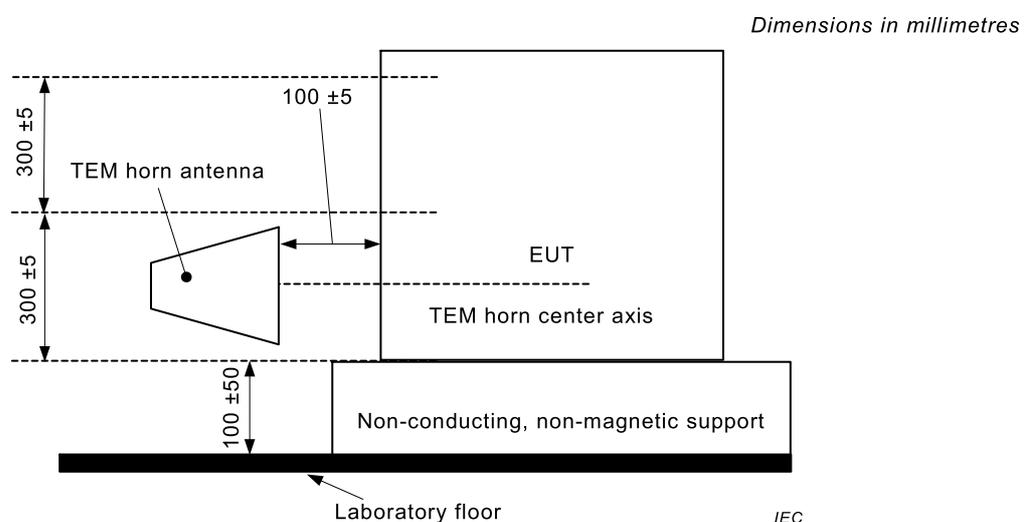
Cables shall be attached to the equipment and arranged on the test site according to the manufacturer's instructions and shall replicate typical installations and use as much as possible. The manufacturer's specified cable types and connectors shall be used. If the wiring to and from the equipment is not specified, unshielded parallel conductors shall be used.

Grounding of housing or case of the equipment shall be consistent with the manufacturer's installation recommendations. If earthed and unearthed configurations are supported, both shall be tested.

Table-top, portable and wall-mounted EUTs shall be placed on a nonconductive support of $(0,80 \pm 0,05)$ m in height.

Floor-standing EUTs should be placed on a nonconductive support of (100 ± 50) mm in height (see Figure 7.) Non-conductive rollers may be used as the (100 ± 50) mm high support.

The antenna is placed in a position (100 ± 5) mm from the exposed face of the EUT. With EUT surfaces that are not flat, adjust the test distance in each window so that the closest point of the EUT within that window is (100 ± 5) mm from antenna. Any deviations shall be documented in the test report.



NOTE As an example for 300 mm × 300 mm windows, the lowest test position is shown, side view.

Figure 7 – Principle of equipment testing on floor-standing EUT using TEM horn antenna

8 Test procedure

8.1 General

Testing shall be performed according to a test plan. Monitor the response of the EUT for each test frequency of each applied disturbance. Assess compliance with the performance criteria specified in the test plan.

8.2 Climatic conditions

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

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

Where it is considered that there is sufficient evidence to demonstrate that the effects of the phenomenon covered by this document are influenced by climatic conditions, this should be brought to the attention of the committee responsible for this document.

8.3 Electromagnetic conditions

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

8.4 Arrangement and operating modes of the EUT

All testing of equipment shall be performed in a configuration as close as possible to actual installation conditions. Wiring shall be consistent with the manufacturer's recommended procedures, and the equipment shall be in its housing with all covers and access panels in place, unless otherwise stated.

The operating conditions of the EUT during testing shall be according to typical and intended use of the equipment considering the most sensitive modes of operation.

8.5 Magnetic field immunity

8.5.1 Level setting procedure 9 kHz to 150 kHz

The procedure for setting the test level is as follows:

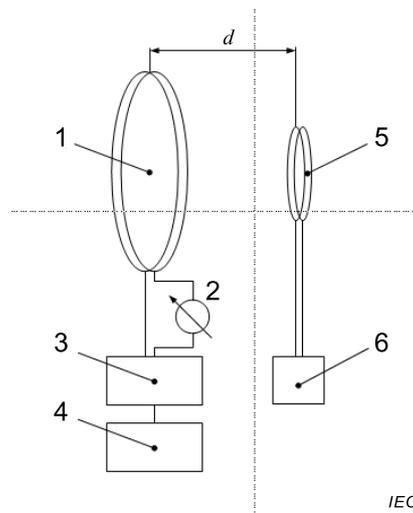
- a) Without having any EUT closer than 2 m from the radiating loop antenna, position the magnetic field sensor loop described in 6.1.2.3 on the center axis of the radiating loop antenna and at a distance of (50 ± 3) mm. The distance is measured from the center part of the radiating loop winding to the center of the magnetic field loop sensor winding.
- b) Connect the output from the magnetic field sensor loop to the high-impedance voltmeter (see Figure 8).
- c) Set the frequency of the signal generator to the lowest frequency in the range of the test (for example 9 kHz).
- d) No modulation signal shall be applied.
- e) Adjust the current to the radiating loop to the calculated level corresponding to the test level (10 A/m r.m.s. corresponds to a loop current of 0,132 A r.m.s.)
- f) Read the voltage induced on the magnetic field sensor loop.
- g) Calculate the measured field strength by applying the conversion factor of the magnetic field sensor loop to the voltage at the actual frequency. The measured field strength shall not deviate from the specified test level by more than $\pm 10\%$. If the deviation is larger, the test setup and calibration factors shall be checked again and corrected.
- h) Increase the frequency by a step size not larger than specified in Table 5.
- i) Repeat steps d) to h) until the next frequency in the sequence would exceed the highest frequency in the range of the test. Finally, repeat steps d) to h) at this highest frequency (for example 150 kHz).
- j) At the highest frequency, switch on the modulation of the test signal, and verify the correct modulation of the test signal (see Figure 3).

8.5.2 Level setting procedure 150 kHz to 26 MHz

The procedure for setting the test level is as follows:

- a) Without having any EUT closer than 2 m from the radiating loop antenna, position the magnetic field sensor loop described in 6.1.2.3 on the center axis of the radiating loop antenna and at a distance of (50 ± 3) mm. The distance is measured from the center part of the radiating loop winding to the center of the magnetic field loop sensor winding.
- b) Connect the radiating loop to the signal generator/amplifier and the output of the magnetic field sensor loop to a measurement receiver.
- c) Set the frequency of the signal generator to the lowest frequency in the range of the test (for example 150 kHz). No modulation signal shall be applied for the level setting process.

- d) Adjust and record the required forward power (into the radiating loop) to achieve the desired test level (which is measured by the magnetic field sensor loop and a measurement receiver)
- e) Increase the frequency by a step size not larger than specified in Table 5.
- f) Repeat steps d) and e) until the next frequency in the sequence would exceed the highest frequency in the range of the test. Finally, repeat steps d) and e) at this highest frequency (for example 26 MHz).
- g) At the highest frequency, switch on the modulation of the test signal, and verify the correct modulation of the test signal (see Figure 4).



IEC

Key

1	radiating loop
2	current probe
3	amplifier
4	signal generator
5	magnetic field sensor loop
6	high-impedance voltmeter
<i>d</i>	test distance

Figure 8 – Radiating loop level setting**8.5.3 Execution of the test**

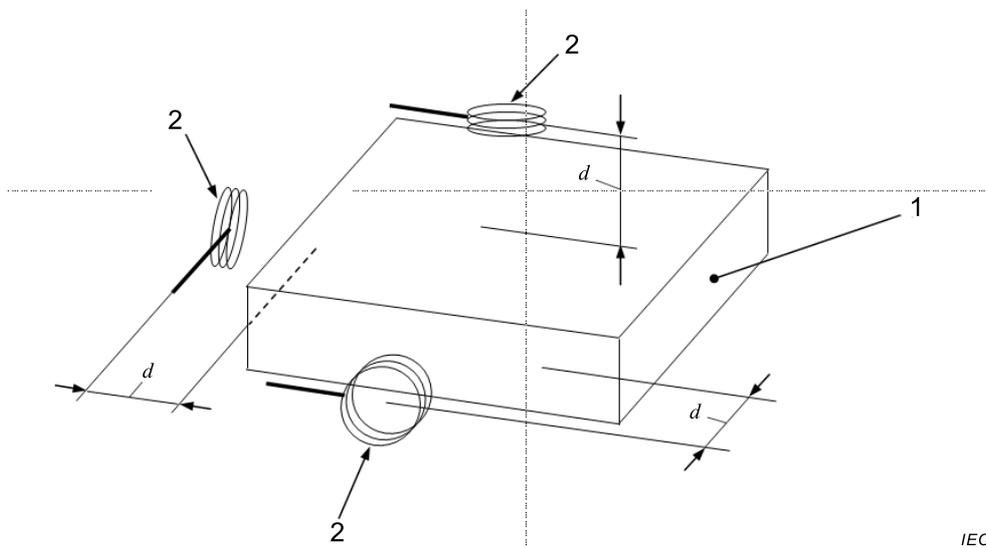
Testing shall be performed according to a test plan.

The test is performed by exposing the EUT to the test signal based on the level defined in Table 1 (see 5.3 and 5.4). The test setup is as shown in Figure 9.

With the equipment operating in modes identified according to 8.3, place the radiating coil at the test distance d , (50 ± 3) mm, depending on the frequency range, from a test point on the equipment (see Figure 9). Orient the plane of the loop sensor parallel to the equipment faces. Generate the defined magnetic field levels based on the verification (see 8.5.1 and 8.5.2).

It is not intended that the test needs to be applied continuously over the entire frequency range. Specific test frequencies may be selected by product committees, as appropriate, or the frequencies given in Table 5 can be chosen.

The frequency ranges to be considered are swept with the signal modulated according to Clause 5, pausing to adjust the RF signal level or to switch oscillators and radiating loops as necessary. The frequency range is swept incrementally, with frequency steps sizes as defined in Table 5. The dwell time at each frequency step depends on the reaction time of the equipment and shall be long enough for the equipment to adequately respond to the test signal. The minimum dwell time is 2 s. Additional dwell time at each test frequency may be necessary to allow the EUT to be exercised in appropriate operating modes. The dwell time shall be documented in the test report.



IEC

Key

- 1 equipment under test
- 2 exposure to all EUT surfaces
- d* test distance

Figure 9 – Principle of equipment testing with radiating loop

Table 5 – Maximum frequency steps size, magnetic field immunity test

Frequency band kHz	Linear steps kHz
9 to 150	10
150 to 1 000	100
1 000 to 26 000	1 000

Expose the equipment surfaces that are subject to illumination by magnetic fields under normal use. Where feasible, it is recommended that all sides of table-top and portable equipment are tested. For floor-standing equipment, the bottom side should not be tested.

Unless stated otherwise in the generic, product or product-family standards, the exposure to the magnetic field shall be applied only to those points and surfaces of the EUT which can be seen as input ports for magnetic fields. The following areas do not require testing:

- a) surfaces where fixed mechanical barriers outside the equipment prevent sources of magnetic fields from being positioned closer than 0,25 m to the surface of the equipment;

- b) surfaces constructed in a manner preventing magnetic sources from coming closer than 0,25 m to active components (sensors, cables, PCBs, etc) inside the equipment (for example, plastic housing with space behind or covering only passive mechanical constructions);
- c) those points and surfaces of the equipment which are no longer accessible to portable RF transmitters in close proximity after fixed installation or after following the instructions for use (for example, the bottom and/or wall-side of equipment or areas);
- d) surfaces consisting of a homogeneous ferromagnetic material (thickness > 0,25 mm) made of one piece having the size of more than 150 % of the loop diameter in each of the two relevant dimensions;
- e) surfaces or areas of the EUT that are exposed to electromagnetic fields from portable transmitting devices used in close proximity only during service or maintenance operations.

If the arrangement specified above cannot be realized, for example because of product-specific depressions or bulges or attached cables, the most critical position for the proximity of portable transmitting devices shall be identified and tested. This special situation shall be documented in the test report.

8.6 Radiated RF field immunity

8.6.1 Level setting procedure

The procedure for setting the test level is as follows:

- a) Position the field sensor in an anechoic chamber along the central axis of the TEM horn antenna at a distance of (100 ± 5) mm from the front of the TEM horn antenna (see Figure 11).
- b) Set the frequency of the signal generator to the lowest frequency in the range of the test (for example, 380 MHz).
- c) Adjust a forward power to generate the target test level (for example, 100 V/m). Record the forward power and field strength readings.
- d) Increase the frequency by a maximum of 1 % of the present frequency.
- e) Repeat steps c) and d) until the next frequency in the sequence would exceed the highest frequency in the range of the test. Finally, repeat step c) at this highest frequency (for example, 6 GHz).
- f) At the highest frequency, switch on the modulation of the test signal, and verify the correct modulation of the test signal (see Figure 3 (5.3) and Figure 4 (5.6)).

8.6.2 Execution of test

The antenna is moved according to the window size of the uniform area covered by the TEM horn antenna used. This is repeated until all selected areas of the EUT surface have been tested. See Annex A for details on determining the size of the uniform area covered by the TEM horn antenna.

An example of a test using a TEM horn antenna which has field uniformity window size of 300 mm x 300 mm is shown in Figure 10. In this example, the antenna is placed at six locations to fully test that EUT surface.

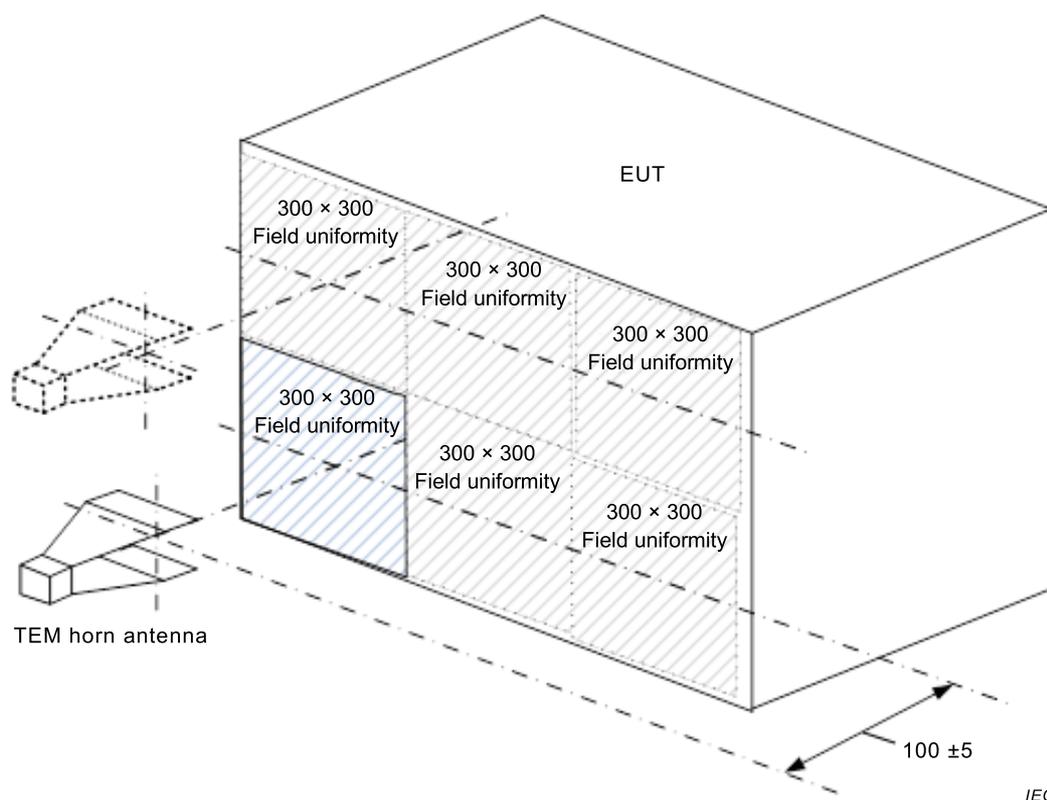
Dimensions in millimetres

Figure 10 – Example of the test pattern using a 300 mm x 300 mm window size for the uniform area

The selected frequency ranges are swept using the signal modulation according to Clause 5. The frequency range is swept incrementally, with frequency steps as defined in 5.2. The dwell time depends on the reaction time of the EUT and shall be long enough for the EUT to adequately respond to the test signal. The minimum dwell time is 1 s. At least two full cycles of modulation of the disturbance test signal shall be applied at each test frequency. Additional dwell time at each test frequency may be necessary to allow the EUT to be exercised in appropriate operating modes. The dwell time shall be documented in the test report.

All surfaces of the EUT that may be subject to exposure to electromagnetic fields from portable transmitting devices used in close proximity to the EUT under normal operational mode shall be considered for testing. Where feasible for table-top and portable equipment, it is recommended that all sides are tested. For floor-standing equipment, the bottom side should not be tested.

Unless stated otherwise in the generic, product or product-family standards, the exposure to the electromagnetic field shall be applied only to those points and surfaces of the EUT which can be seen as input ports for electromagnetic fields from devices used in close proximity. The following areas do not require testing:

- a) EUT surfaces where fixed mechanical barriers outside the equipment prevent sources of electromagnetic fields from being positioned closer than 0,25 m to the surface of the equipment;
- b) EUT surfaces constructed in a manner that prevents disturbance sources from coming closer than 0,25 m to active components (sensors, cables, PCBs, etc) inside the equipment (for example, plastic housing with space behind or covering only passive mechanical constructions);

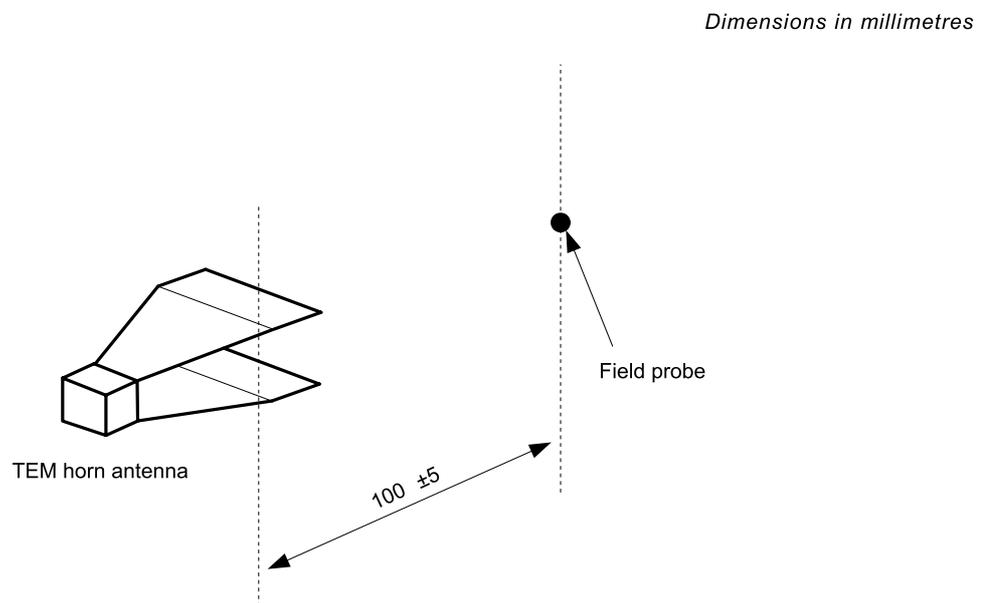
- c) those points and surfaces of the equipment which are no longer accessible to portable RF transmitters in close proximity after fixed installation or after following the instructions for use (for example, the bottom and/or wall-side of equipment or areas);
- d) surfaces consisting of a homogeneous metallic material (thickness > 0,25 mm) made of one piece having the size of more than 150 % of the TEM horn uniform area;
- e) surfaces or areas of the EUT that are exposed to electromagnetic fields from portable transmitting devices used in close proximity only during service or maintenance operations.

All surfaces of the equipment that are to be tested shall be partitioned into multiple windows. The physical dimension of each window is established according to Annex A.

Each window shall be illuminated using the TEM horn antenna in horizontal and vertical orientation (see Figure 12). The separation between the TEM horn antenna and the EUT surfaces shall be (100 ± 5) mm. The TEM horn antenna shall be positioned at the specified distance from the centre of each of these areas with the horn antenna's central axis perpendicular to the surface of the EUT. Movement of the TEM horn antenna during exposure should be avoided.

If the arrangement specified above cannot be realized, for example because of product-specific depressions or bulges or attached cables, the most critical position for the proximity of portable transmitting devices shall be identified and tested. This special situation shall be documented in the test report. In the case of attached cables located next to the EUT surface being tested, the TEM horn antenna is not required to be placed closer than 100 mm from the cables.

For each test point, monitor the reaction of the equipment. Assess compliance with the immunity compliance criteria specified in the test plan.



IEC

Figure 11 – Arrangement of level setting

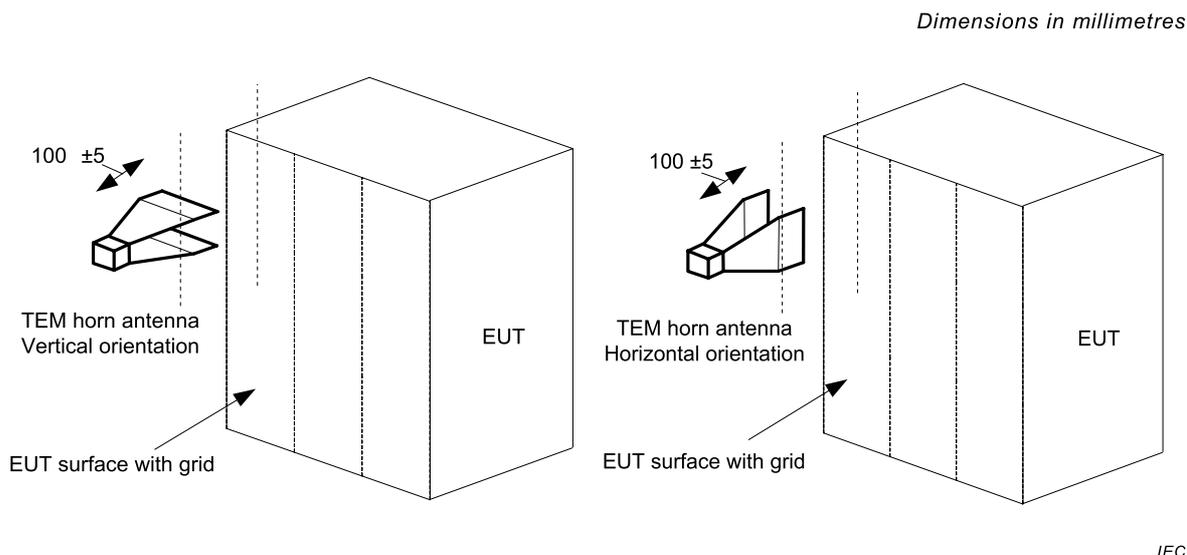


Figure 12 – Example of TEM horn antenna orientations

9 Evaluation of test results

The test results shall be classified in terms of the loss of function or degradation of performance of the EUT, relative to a performance level defined by its manufacturer or the requestor of the test or by agreement 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

10 Test report

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

- a) identification of the EUT and any associated equipment, for example, brand name, product type, serial number;
- b) the items specified in the test plan required by Clause 8 of this document;
- c) identification of the test equipment, for example, brand name, product type, serial number;
- d) any special environmental conditions in which the test was performed;
- e) any specific conditions necessary to enable the test to be performed;

- f) performance level defined by the manufacturer, requestor or purchaser;
- g) performance criteria specified in the generic, product or product-family standard;
- h) any effects on the EUT observed during or after the application of the test disturbance, and the duration for which these effects persist;
- i) 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);
- j) any specific conditions of use, for example cable length or type, shielding or grounding, or EUT operating conditions, which are required to achieve compliance;
- k) a complete description of the cabling and equipment position and orientation shall be included in the test report; in some cases a picture may be sufficient for that;
- l) representative operating conditions of the EUT;
- m) a description of the EUT exercising method;
- n) the frequency range of application of the test;
- o) the test frequency dwell time and frequency steps;
- p) the applied test level;
- q) the modulation of the disturbance signal applied;
- r) the positions of the loop antenna and the TEM horn antenna(s) relative to the EUT;
- s) the performance level defined by the manufacturer, requestor or purchaser;
- t) the performance criteria that have been applied;
- u) any effects on the EUT observed during or after application of the test disturbance and the duration for which these effects persist.

Annex A (normative)

TEM horn antenna

A.1 General

Annex A introduces a series of parameters to be met by TEM horn antennas used in close-proximity tests. The parameters are based on full wave numerical analysis of some structures that could be used as potential radiators. The structure is not described to allow commercial companies to decide what approach they will choose to achieve these parameters. The main parameter described is the field uniformity or field distribution in close proximity to the antenna. The parameters described herein are:

- a) frequency range
- b) VSWR
- c) field distribution

A.2 Frequency range

The applicable frequency range is 380 MHz to 6 GHz. However, it is permissible to have more than one antenna to cover the range.

A.3 VSWR

The VSWR of the antenna shall not exceed 3:1.

A.4 Field distribution

The most critical part of this approach is characterisation of the antenna. Current antenna near field calibration methods such as SAE ARP 958D are not adequate because such methods do not characterise the uniformity of illumination over the aperture of the antenna.

The purpose of Annex A is to assure the uniformity of the applied field at a certain distance from the TEM horn antenna. The size of field uniformity depends on the capability of the TEM horn antenna and thus defines the maximum illuminated area. Therefore this document does not specify anything about the antenna size. An antenna having a larger area of field uniformity may improve test efficiency.

The field strength in the illuminated area of the TEM antenna shall be in the range 0 dB to 4 dB below the maximum field strength at 100 mm distance from the TEM antenna.

For the verification of the field uniformity of a TEM horn antenna, an anechoic chamber shall be used. In order to avoid reflections, additional absorbing materials on the floor may be used.

A small field strength probe shall be positioned at (100 ± 5) mm from the outer front surface of the TEM horn antenna. The probe shall be able to measure the field strength in a single field polarisation. The size of the sensing element of the field probe shall be less than 1/3 of the smaller dimension of the opening of the TEM horn antenna.

The procedure for verification of the field uniformity of the TEM horn antenna is as follows.

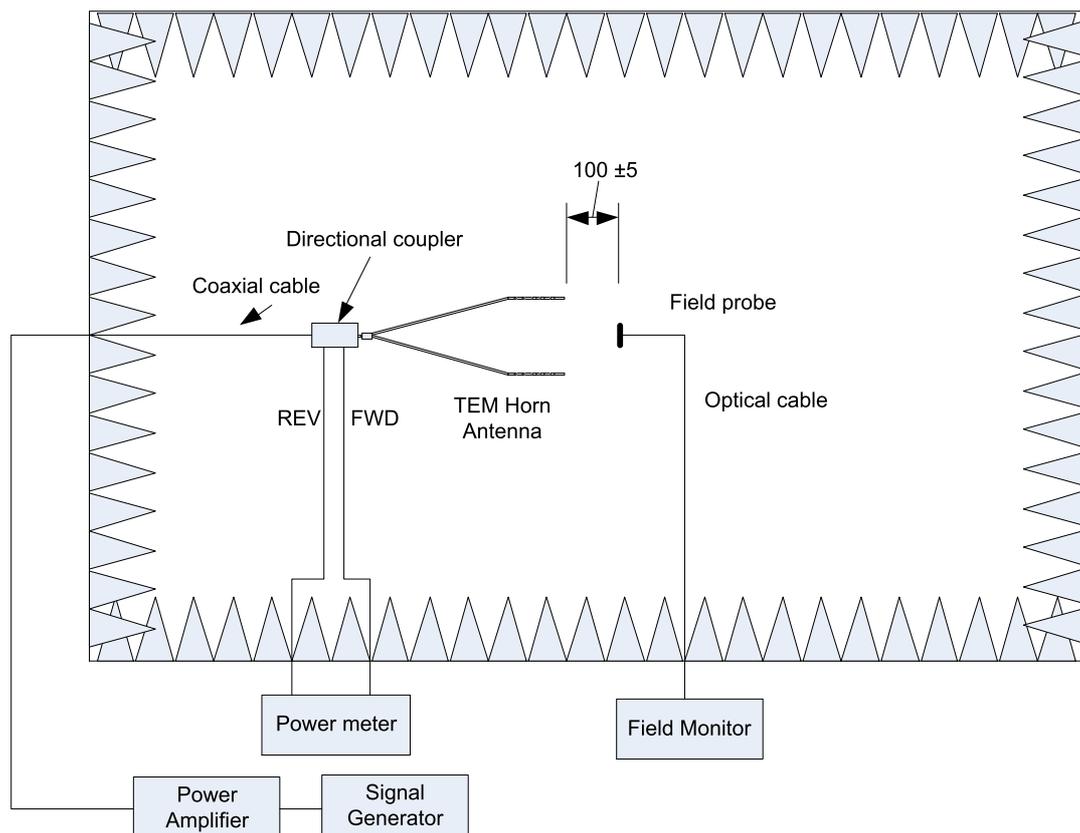
- a) Define a grid with 25 mm x 25 mm spacing starting with the center point and covering the desired uniform area. The center point is along the central axis of the TEM horn antenna.

- b) Position the field probe at the center point of the grid at a distance of (100 ± 5) mm from the front surface of the TEM horn antenna (see Figures A.1 and A.2).
- c) Record the forward power and the field strength readings in the frequency range (frequency increase of maximum 1% of the present frequency) of the test or antenna specification using an appropriate field strength level (for example, 100 V/m)
- d) Repeat step c) with the field probe placed at each grid point.
- e) Sort the recorded forward power values (in case of constant field strength) or the recorded field strength values (in case of constant power) from maximum to minimum values for all frequency steps
- f) The TEM horn antenna's useable uniform field area is defined by that area in which all contiguous probe positions are within 0 dB to -4 dB of the maximum field strength recorded in steps b) through d).

NOTE Usually field uniformity data is provided by an antenna manufacturer and it can be used by the test laboratory.

An example of a plot of field uniformity of a TEM horn antenna is shown in Figure A.3.

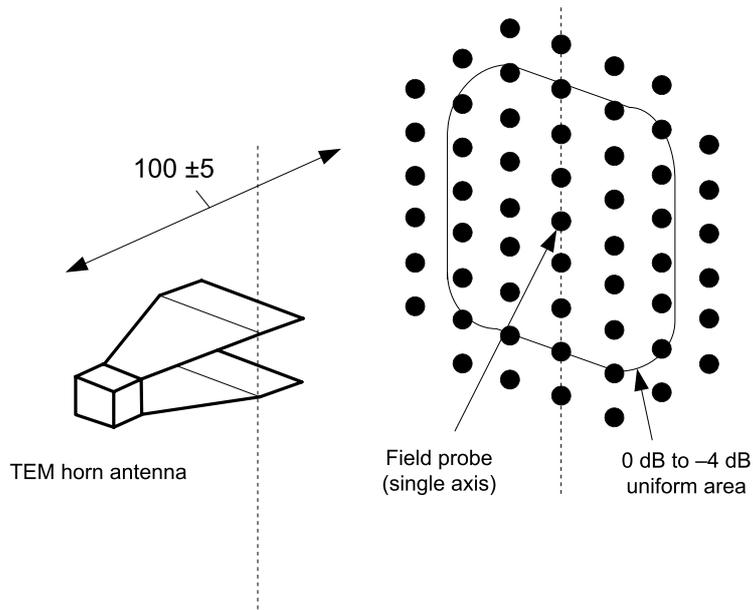
Dimensions in millimetres



IEC

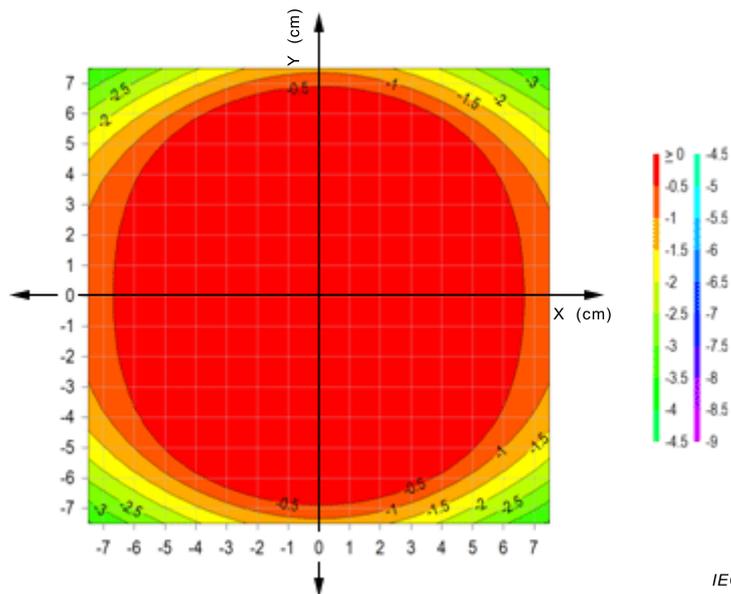
Figure A.1 – Example of field uniformity verification setup

Dimensions in millimetres



IEC

Figure A.2 – Field uniformity measurement setup



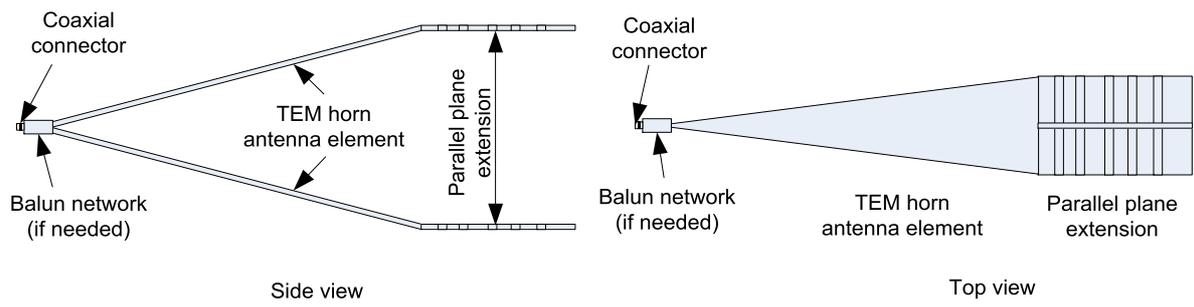
IEC

For this antenna, the field strength varies less than 0,5 dB within an area of 100 mm x 100 mm.

Figure A.3 – Example of field uniformity at 1,5 GHz (simulated) for TEM horn antenna having an aperture dimension of 205 mm x 205 mm

A.5 General design for TEM horn antenna

The general design principle of a TEM horn antenna is shown in Figure A.4.



IEC

Figure A.4 – Example of general design principle of TEM horn antenna

Annex B (informative)

Test frequencies, levels and modulations

B.1 General

The test levels should be selected in accordance with the electromagnetic environment to which the EUT and cables may be exposed in normal installation environments. The consequences of failure should be borne in mind in selecting the test level to be used. A higher level may be required if the consequences of failure are large.

If the EUT is to be installed at a few sites only, then inspection of the local RF sources enables a calculation of field strengths likely to be encountered.

For equipment intended for operation in a variety of locations, the following guidelines may be followed in selecting the test level to be used.

B.2 Magnetic emitters in the range from 9 kHz to 26 MHz

In the frequency range 9 kHz to 26 MHz, there are a number of new technologies or novel applications of established technologies that may increase the likelihood of interaction. Examples are:

- electronic article surveillance (EAS) systems,
- access control systems (radio-frequency identification – RFID),
- magnetic levitated rail systems,
- radio-frequency (RF) medical procedures such as high frequency surgery and ablation therapy,
- metal detectors,
- use of transponders for traffic control,
- wireless charging/inductive power transfer.

See IEC TR 61000-2-5 for information regarding services operating in the frequency range of 9 kHz to 26 MHz.

Test frequencies, test levels and modulation requirements for the frequency range 9 kHz to 26 MHz are defined in 5.2, 5.3 and 5.4.

B.3 Radio services in the range from 26 MHz to 6 GHz

These disturbance sources are identified from IEC 61000-4-3:2006, Annex G, ISO 11451-3 and ISO 11452-9:2012, Annex A, and listed in Table B.1. The calculated field strengths may be used to determine a suitable test level for evaluating immunity to these radio services.

Table B.1 – Guidance on test levels of certain RF wireless communications equipment

Band ^a (MHz)	Service ^a	Modulation	Maximum power (W)	Calculation distance (m)	Calculated field strength (RMS) (V/m)
26,xx to 27,xx	ISM	AM, FM, pulse	No limit		
380 to 390	TETRA 400	Pulse modulation ^b 18 Hz	1,8	0,1	81
430 to 470	GMRS 460, FRS 460	FM ^c ± 5 kHz deviation 1 kHz sine	2	0,1	84
704 to 787	LTE Band 13, 17	Pulse modulation ^b 217 Hz	0,2	0,1	27
					27
					27
800 to 960	GSM 800/900, TETRA 800, iDEN 820, CDMA 850, LTE Band 5	Pulse modulation ^b 18 Hz	2	0,1	84
1 447,9 to 1 462,9	LTE Band 21	Pulse modulation ^b 18 Hz	2	0,1	81
1 700 to 1 990	GSM 1800; CDMA 1900; GSM 1900; DECT; LTE Band 1, 3, 4, 25; UMTS	Pulse modulation ^b 217 Hz	2	0,1	84
					84
					84
2 400 to 2 570	Bluetooth, WLAN, 802.11 b/g/n, RFID 2450, LTE Band 7	Pulse modulation ^b 217 Hz	2	0,1	84
5 100 to 5 800	WLAN 802.11 a/n	Pulse modulation ^b 217 Hz	0,2	0,1	27
					27
					27
^a For some services, only the uplink frequencies are included. ^b The carrier shall be modulated using a 50 % duty cycle square wave signal. ^c As an alternative to FM modulation, 50 % pulse modulation at 18 Hz may be used because while it does not represent actual modulation, it would be the worst case.					

As a rule of thumb the field strength at a distance from a transmitter can be calculated using the following formula:

$$E = \frac{6}{d} \sqrt{P}$$

where

P is the maximum power in W,

d is the separation distance in m, and

E is the calculated field strength in V/m at the distance d .

The assumptions inherent in this formula are not valid for all conditions, including the near field or high gain antennas. More detailed information for determination of field strengths in near field and far field can be found in IEC TR 61000-2-5:2011, Annex B.

Annex C (informative)

In situ testing

C.1 General

In situ testing applies to large, permanently-installed equipment and systems that are constructed in such a way that simulated operation of subsystems is not feasible.

C.2 Test procedure

In situ testing shall be performed in the final installation condition of the EUT.

It has to be considered that local regulatory requirements of field generation are respected and that other co-located equipment shall not be unacceptably affected.

C.3 Test report

All test parameters shall be stated in the test report.

Bibliography

IEC 61000-4-3:2006, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test*
IEC 61000-4-3:2006/AMD1:2008
IEC 61000-4-3/AMD2:2010

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

IEC 61000-4-21, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-21: Testing and measurement techniques – Reverberation chamber test methods*

IEC 61000-4-22, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-22: Testing and measurement techniques – Radiated emissions and immunity measurements in fully anechoic rooms (FARs)*

IEC TR 61000-2-5:2011, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 2-5: Environment – Description and classification of electromagnetic environments*

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

ISO 11451-3:2007, *Road vehicles – Vehicle test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy – Part 3: On-board transmitter simulation*

ISO 11452-8:2015, *Road vehicles – Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy – Part 8: Immunity to magnetic fields*

ISO 11452-9:2012, *Road vehicles – Component test methods for electrical disturbances from narrowband radiated electromagnetic energy – Part 9: Portable transmitters*

ISO 14708-3:2008, *Implants for surgery – Active implantable medical devices – Part 3: Implantable neurostimulators*

ICNIRP, *Guidelines for Limiting Exposure to Time-Varying Electric, Magnetic, and Electromagnetic Fields (up to 300 GHz)*. *Health Physics* 74 (4): pp. 494-522, 1998

MIL-STD-461F, *Department of Defence Interface Standard; Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment (10 Dec 2007)*

MIL-STD-461G:2010, *Department of Defence Interface Standard; Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment*

SAE ARP 958D, *Aerospace Recommended Practice electromagnetic Interference Measurement antennas; Standard Calibration Method*

National Institute of standards and Technology (NIST), Technical Note 1544

MIL-STD-461G:2015, *Department of Defence Interface Standard; Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	45
INTRODUCTION	47
1 Domaine d'application	50
2 Références normatives	50
3 Termes, définitions et termes abrégés	51
3.1 Termes et définitions	51
3.2 Termes abrégés	53
4 Généralités	53
5 Niveaux d'essai	54
5.1 Généralités	54
5.2 Fréquences d'essai	55
5.3 Niveaux d'essai dans la plage de fréquences de 9 kHz à 150 kHz	55
5.4 Niveaux d'essai dans la plage de fréquences de 150 kHz à 26 MHz	56
5.5 Niveaux d'essai dans la plage de fréquences de 26 MHz à 380 MHz	57
5.6 Niveaux d'essai dans la plage de fréquences de 380 MHz à 6 GHz	57
6 Matériel d'essai	58
6.1 Immunité aux champs magnétiques	58
6.1.1 Généralités	58
6.1.2 Immunité aux champs magnétiques entre 9 kHz et 150 kHz	58
6.1.3 Immunité aux champs magnétiques entre 150 kHz et 26 MHz	59
6.2 Immunité aux champs RF rayonnés	60
6.2.1 Dispositifs générant des champs entre 26 MHz et 380 MHz	60
6.2.2 Dispositifs générant des champs entre 380 MHz et 6 GHz	60
7 Montage d'essai	61
7.1 Immunité aux champs magnétiques	61
7.1.1 Installation d'essai	61
7.1.2 Disposition de l'équipement en essai	61
7.1.3 Méthode d'essai utilisant une boucle rayonnante	62
7.2 Immunité aux champs RF rayonnés	63
7.2.1 Installation d'essai	63
7.2.2 Disposition de l'équipement en essai	63
8 Procédure d'essai	64
8.1 Généralités	64
8.2 Conditions climatiques	64
8.3 Conditions électromagnétiques	65
8.4 Disposition et modes de fonctionnement de l'EST	65
8.5 Immunité aux champs magnétiques	65
8.5.1 Procédure de réglage du niveau entre 9 kHz et 150 kHz	65
8.5.2 Procédure de réglage du niveau entre 150 kHz et 26 MHz	65
8.5.3 Exécution de l'essai	66
8.6 Immunité aux champs RF rayonnés	68
8.6.1 Procédure de réglage du niveau	68
8.6.2 Exécution de l'essai	69
9 Évaluation des résultats d'essai	71
10 Rapport d'essai	72

Annexe A (normative) Antenne cornet TEM.....	73
A.1 Généralités	73
A.2 Plage de fréquences	73
A.3 ROS.....	73
A.4 Répartition du champ.....	73
A.5 Conception générale de l'antenne cornet TEM	76
Annexe B (informative) Fréquences, niveaux et modulations d'essai.....	77
B.1 Généralités	77
B.2 Émetteurs magnétiques dans la plage de fréquences de 9 kHz à 26 MHz	77
B.3 Services radio dans la plage de fréquences de 26 MHz à 6 GHz.....	77
Annexe C (informative) Essais in situ.....	80
C.1 Généralités	80
C.2 Procédure d'essai	80
C.3 Rapport d'essai.....	80
Bibliographie.....	81
Figure 1 – Vue d'ensemble des méthodes d'essai pouvant être utilisées pour l'évaluation de l'immunité des équipements aux perturbations rayonnées par des émetteurs RF.....	54
Figure 2 – Méthodes d'essai de proximité traitées dans le présent document.....	54
Figure 3 – Définition du niveau d'essai modulé en amplitude à 80 % et formes d'onde en sortie du générateur de signal.....	56
Figure 4 – Exemple de niveau d'essai modulé en impulsion (rapport cyclique de 50 %, 217 Hz) et formes d'onde en sortie du générateur de signal.....	58
Figure 5 – Exemple d'essai d'un EST posé au sol en utilisant l'antenne de la boucle rayonnante – Plage de fréquences de 9 kHz à 150 kHz (dimension de fenêtre 100 mm x 100 mm).....	62
Figure 6 – Exemple d'essai d'EST posé au sol en utilisant l'antenne de la boucle rayonnante – Plage de fréquences de 150 kHz à 26 MHz (dimension de fenêtre 80 mm x 80 mm).....	62
Figure 7 – Exemple d'essais d'un EST posé au sol en utilisant une antenne cornet TEM	64
Figure 8 – Réglage du niveau de la boucle rayonnante	66
Figure 9 – Principe d'essai d'un équipement avec boucle rayonnante	67
Figure 10 – Exemple de gabarit d'essai utilisant une fenêtre de dimensions 300 mm x 300 mm pour la zone uniforme	69
Figure 11 – Disposition du réglage de niveau.....	71
Figure 12 – Exemple d'orientations de l'antenne cornet TEM	71
Figure A.1 – Exemple de montage de vérification d'uniformité de champ	75
Figure A.2 – Montage de mesure d'uniformité de champ	75
Figure A.3 – Exemple d'uniformité de champ à 1,5 GHz (simulation) pour antenne cornet TEM ayant une ouverture de 205 mm x 205 mm.....	76
Figure A.4 – Exemple de principe de conception générale d'antenne cornet TEM	76
Tableau 1 – Niveaux d'essai des champs magnétiques hétérogènes, 9 kHz à 150 kHz	55
Tableau 2 – Niveaux d'essai des champs magnétiques hétérogènes, 150 kHz à 26 MHz	56
Tableau 3 – Niveaux d'essai des champs RF provenant des émetteurs utilisés à proximité, 380 MHz à 6 GHz	57

Tableau 4 – Définition de la dimension de fenêtre et de la distance d'essai	63
Tableau 5 – Dimensions des pas de fréquence maximaux, essai d'immunité aux champs magnétiques	67
Tableau B.1 – Lignes directrices concernant les niveaux d'essai de certains équipements RF de communication sans fil	78

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –**Partie 4-39: Techniques d'essai et de mesure –
Champs rayonnés à proximité –
Essai d'immunité****AVANT-PROPOS**

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

La Norme internationale IEC 61000-4-39 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 4-39 de la série IEC 61000. Elle a le statut d'une publication fondamentale en CEM conformément au Guide IEC 107.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
77B/769/FDIS	77B/772/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/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. À 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 sous la forme de plusieurs parties séparées, conformément à la structure suivante:

Partie 1: Généralités

Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)

Définitions, terminologie

Partie 2: Environnement

Description de l'environnement

Classification de l'environnement

Niveaux de compatibilité

Partie 3: Limites

Limites d'émission

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

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure

Techniques de mesure

Techniques d'essai

Partie 5: Guides d'installation et d'atténuation

Guides d'installation

Méthodes et dispositifs d'atténuation

Partie 6: Normes génériques

Partie 9: Divers

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

Considérations particulières à l'IEC 61000-4-39

La présente partie de l'IEC 61000 est une norme internationale qui spécifie les exigences d'immunité et les procédures d'essai applicables aux perturbations rayonnées provoquées par des champs de radiofréquences émis par des dispositifs utilisés à proximité.

Il est impossible d'ignorer l'évolution considérable qu'a connue l'environnement électromagnétique courant. Il n'y a pas si longtemps, les émetteurs-récepteurs portables à modulation de fréquence (FM) utilisés à des fins commerciales, de santé publique et de radiocommunications amateurs constituaient les applications RF prédominantes. La distribution était limitée (par exemple, par l'octroi de licences) et, dans la plupart des cas, les antennes rayonnantes étaient installées à l'extérieur des bâtiments pour optimiser leur efficacité. La situation a changé dès lors que la technologie a permis de fabriquer des téléphones compacts sans fil, légers et à des prix raisonnables. Les services sans fil (DECT,

téléphones mobiles, UMTS/WiFi/WiMAX/Bluetooth¹, interphones de surveillance de bébé, etc.) sont désormais largement utilisés et acceptés. Ainsi, de nouvelles situations d'expositions des équipements aux fréquences radio (RF) sont observées du fait que les équipements conçus pour ces nouvelles technologies peuvent être équipés d'une antenne à l'intérieur du bâtiment et même à l'intérieur du boîtier du dispositif et être omniprésents dans presque n'importe quel milieu, y compris au travail, à la maison et dans les transports publics.

Les nouvelles technologies numériques ont permis de faire évoluer les méthodes de modulation traditionnelles AM et FM vers des modulations numériques présentant une grande diversité de caractéristiques différentes d'amplitude et de largeur de bande. Alors que les niveaux globaux de la puissance d'émission moyenne dans le temps ont pu baisser de manière générale avec le temps en raison de l'amélioration de la densité des réseaux et de la migration des services, les niveaux maximaux de puissance possibles (impulsion crête) des autres bandes ont augmenté de manière significative. De plus, l'intégration de plusieurs antennes d'émission (pour prendre en charge, par exemple, les liaisons WiFi et Bluetooth), l'évolution des facteurs de forme, des débits binaires plus élevés pour faciliter les transferts de données et l'accès à Internet, ainsi que l'utilisation de casques microphoniques sans fil, ont donné lieu à un modèle plus complexe et diversifié en ce qui concerne l'utilisation et l'exposition. L'amélioration de la portabilité des dispositifs d'émission a également réduit de manière considérable la distance de séparation entre les sources d'énergie rayonnée de fréquence radio et les équipements susceptibles d'être perturbés par cette énergie.

Il convient de prévoir que la révolution des technologies sans fil continuera à se développer avec de nouvelles applications par le biais d'hyperfréquences de plus en plus élevées.

Les essais d'immunité réalisés conformément aux normes existantes, telles que les IEC 61000-4-3, 61000-4-20, 61000-4-21 et 61000-4-22, peuvent ne pas convenir à l'évaluation de la compatibilité avec les champs électriques et magnétiques complexes générés par les émetteurs RF situés à proximité (par exemple, à quelques centimètres) de la surface des équipements électroniques. Les niveaux de puissance exigés pour les intensités de perturbations plus élevées, associées à de très petites distances de séparation, peuvent grandement compliquer l'application de certaines des normes d'essai existantes ou en rendre les coûts de réalisation prohibitifs.

Les nouvelles technologies utilisent également des champs magnétiques. Les champs sont hétérogènes et leur amplitude ainsi que leur direction dans une région de l'espace varient notablement. En général, ils peuvent être générés par des moteurs, des transformateurs de puissance, des alimentations de commutation, des portails de surveillance électronique d'articles (EAS) ou des émetteurs de systèmes d'identification par radiofréquence (RFID), des systèmes de recharge par induction et des dispositifs de communication en champ proche (NFC). Les champs provenant des sources susmentionnées diminuent rapidement à mesure que la distance qui les sépare de la source augmente.

Du fait que ces nouvelles technologies utilisent une très vaste plage du spectre fréquentiel, il est nécessaire d'appliquer différentes méthodes d'essai qui prennent en considération le comportement physique d'accouplement magnétique dans la plage de fréquences la plus basse et les caractéristiques électriques les plus pertinentes dans la plage de fréquences la plus haute. De plus, la grande disparité des caractéristiques physiques et électriques des types d'équipements pouvant être affectés par les émetteurs portables à proximité ainsi que les applications pour lesquelles ces équipements sont utilisés impliquent la nécessité d'appliquer différentes méthodes d'essai.

Actuellement, le présent document couvre les sources de perturbations de champs magnétiques dans la plage de fréquences de 9 kHz à 26 MHz. Pour l'instant, aucun essai n'a

¹ Bluetooth est l'appellation commerciale d'un produit distribué par Bluetooth SIG. Cette information est donnée à l'intention des utilisateurs du présent document et ne signifie nullement que l'IEC approuve ou recommande l'emploi exclusif du produit ainsi désigné. Des produits équivalents peuvent être utilisés s'il est démontré qu'ils conduisent aux mêmes résultats.

été défini pour la plage de fréquences de 26 MHz à 380 MHz. Pour la plage de fréquences de 380 MHz à 6 GHz, des essais effectués à l'aide d'une antenne cornet TEM sont définis. Il a notamment été constaté que les méthodes d'essai spécifiées pour la plage de fréquences supérieure à 380 MHz ne prennent pas en considération les variations possibles de l'impédance de champ des émetteurs à proximité réelle, qui peuvent représenter des sources dont les impédances de champ sont bien en dessous de l'impédance en champ lointain de 377Ω (principalement des sources de champs magnétiques) et bien au-dessus de 377Ω (principalement des sources de champs électriques). Dans la plage de fréquences supérieure à 380 MHz, la longueur d'onde du signal est telle que le champ proche réactif de la source commence à seulement quelques centimètres de la source (environ $0,1 \lambda$). À cette distance, l'impédance du champ tend vers l'impédance en champ lointain de 377Ω . L'antenne cornet TEM représente une source de champ qui avoisine 377Ω .

Des recherches sont en cours pour identifier les types d'antennes pouvant être caractérisés par l'impédance du champ et la caractéristique de rayonnement sur des dimensions spécifiées de fenêtre d'illumination. Pour faciliter les essais, il convient que ces dimensions soient aussi grandes que possible et qu'elles couvrent, de préférence, une grande plage de fréquences. Les types d'antennes qui ne sont pas couverts par les droits de propriété intellectuelle du constructeur et qui peuvent être explicitement caractérisés, par exemple, par un balayage en champ proche ou par la caractérisation du modèle numérique, sont les types préférentiels pour la présente norme fondamentale.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-39: Techniques d'essai et de mesure – Champs rayonnés à proximité – Essai d'immunité

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 61000 spécifie les exigences d'immunité des équipements électriques et électroniques lorsqu'ils sont exposés à une énergie électromagnétique rayonnée provenant d'émetteurs RF utilisés à proximité. Elle établit les niveaux d'essai et les procédures d'essai exigées. La plage de fréquences applicable est celle des fréquences de 9 kHz à 6 GHz. Les équipements fixes exposés aux dispositifs d'émission portables, les équipements mobiles exposés aux dispositifs fixes d'émission et les équipements mobiles exposés aux autres dispositifs mobiles d'émission sont pris en considération.

Le présent document a pour objet d'établir une référence commune pour l'évaluation des exigences d'immunité des équipements électriques et électroniques exposés aux champs RF électromagnétiques rayonnés émis par des sources situées à de faibles distances. Il est à noter que la présente partie de l'IEC 61000 ne remplace pas les exigences générales d'immunité des équipements électriques et électroniques à l'énergie électromagnétique rayonnée telles que spécifiées dans l'IEC 61000-4-3 et dans les autres parties de l'IEC 61000. La présente partie n'est applicable que si un matériel ou un système est exposé à des sources de perturbation situées à proximité.

Dans le cadre du présent document, le terme «à proximité» fait généralement référence à une distance de séparation entre la source et l'équipement victime inférieure ou égale à 200 mm pour des fréquences supérieures à 26 MHz et à 500 mm pour des fréquences inférieures à 26 MHz.

Les méthodes d'essai décrites dans la présente partie de l'IEC 61000 sont adaptées à l'évaluation de l'immunité d'un équipement ou d'un système à un phénomène défini dans la plage de fréquences correspondante. Les comités de produits examineraient l'applicabilité de l'essai, et ensuite si cela est nécessaire, choisiraient la méthode d'essai applicable en fonction de l'EST, de la plage de fréquences, de la source de la perturbation, etc.

NOTE Comme cela est décrit dans le Guide 107 de l'IEC, le présent document est une publication fondamentale en CEM destinée à l'usage des comités de produits de l'IEC. Comme le Guide 107 le mentionne aussi, les comités de produits de l'IEC sont tenus de déterminer si la présente norme d'essai d'immunité est appliquée ou non, et, si elle est appliquée, les comités sont responsables de la définition des niveaux d'essai et des critères d'aptitude à la fonction appropriés. Le comité d'études 77 et ses sous-comités sont prêts à coopérer avec les comités de produits pour l'évaluation de la pertinence des essais particuliers d'immunité pour leurs produits.

Le présent document traite des essais d'immunité aux champs RF magnétiques et électromagnétiques émis par toute source utilisée à proximité d'autres équipements ou systèmes électriques ou électroniques.

Le présent document présente une méthode d'essai indépendante. Il convient de ne pas utiliser d'autres méthodes d'essai comme variantes pour se conformer au présent document.

2 Références normatives

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

IEC 60050-161, *Vocabulaire Électrotechnique International (VEI) – Partie 161: Compatibilité électromagnétique* (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, définitions et termes abrégés de l'IEC 60050-161 ainsi que les suivants, s'appliquent.

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

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

NOTE Lorsque les termes «tension» et «courant» sont utilisés dans le présent document, ils se réfèrent, sauf indication contraire, aux valeurs efficaces d'une tension ou d'un courant alternatif ou continu,

3.1.1

compatibilité électromagnétique CEM

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

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-07]

3.1.2

perturbation électromagnétique

phénomène électromagnétique susceptible de créer des troubles de fonctionnement d'un dispositif, d'un appareil ou d'un système, ou d'affecter défavorablement la matière vivante ou inerte

Note 1 à l'article: Une perturbation électromagnétique peut être un bruit électromagnétique, un signal non désiré ou une modification du milieu de propagation lui-même.

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-05]

3.1.3

émission (électromagnétique)

processus par lequel une source fournit de l'énergie électromagnétique vers l'extérieur

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-01-08]

3.1.4

environnement électromagnétique

ensemble des phénomènes électromagnétiques existant à un endroit donné

Note 1 à l'article: L'environnement électromagnétique dépend en général du temps et sa description peut exiger une approche statistique.

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

3.1.5

champ lointain

région de l'espace où les composantes prépondérantes du champ électromagnétique sont celles qui correspondent à une propagation d'énergie et où la répartition du champ en fonction de la direction est pratiquement indépendante de la distance à l'antenne

Note 1 à l'article: Dans la région de champ lointain, toutes les composantes du champ décroissent de façon inversement proportionnelle à la distance à l'antenne.

Note 2 à l'article: Pour une antenne à rayonnement transversal dont la dimension maximale D est grande par rapport à la longueur d'onde λ , on considère généralement que la région de champ lointain est située au-delà d'une distance à l'antenne égale à $2 D^2/\lambda$ dans la direction du maximum de rayonnement.

[SOURCE: IEC 60050-712:1992, 712-02-02, modifiée – le mot "région de" a été supprimé du terme.]

3.1.6

intensité du champ

composante électrique ou composante magnétique du champ

Note 1 à l'article: L'intensité du champ peut être exprimée en V/m ou en A/m.

Note 2 à l'article: Pour les mesurages effectués en champ proche, le terme «intensité de champ électrique» ou «intensité de champ magnétique» est utilisé selon que le champ électrique ou magnétique résultant, respectivement, est mesuré. Dans cette région de champ, la relation entre l'intensité de champ électrique et de champ magnétique et la distance est complexe et difficile à prévoir, car elle dépend de la configuration particulière concernée. Dans la mesure où il n'est généralement pas possible de déterminer la durée et la relation de phase des diverses composantes du champ complexe, la puissance surfacique du champ est de la même façon indéterminée.

3.1.7

immunité (à une perturbation)

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

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

3.1.8

niveau d'essai d'immunité

niveau d'un signal d'essai utilisé pour simuler une perturbation électromagnétique pendant l'exécution d'un essai d'immunité

[SOURCE: IEC 60050-161:1990, 161-04-41]

3.1.9

(région de) champ proche réactif champ proche

région de l'espace située au voisinage immédiat d'une antenne, où les composantes prépondérantes du champ électromagnétique sont celles qui correspondent à un échange d'énergie réactive entre l'antenne et le milieu environnant

[SOURCE: IEC 60050-712:1992, 712-02-01, modifiée – dans le terme, "région d'induction" a été remplacé par "champ proche".]

3.1.10

polarisation

orientation du vecteur de champ électrique d'un champ rayonné

3.1.11

radiofréquence

RF

fréquence dans le domaine du spectre électromagnétique qui est entre les domaines audiofréquence et infrarouge et qui est utile pour les émissions radioélectriques

3.2 Termes abrégés

Pour les besoins du présent document, termes abrégés suivants s'appliquent.

AMRC	Code division multiple access (accès multiple par répartition en code)
DECT	Digital enhanced cordless telecommunication (Télécommunication sans fil numérique améliorée)
EAS	Electronic article surveillance (surveillance électronique d'articles)
EST	Equipement en essai
FRS	Family radio service (service radio familial)
GMRS	General mobile radio service (service radio mobile général)
GSM	Global system for mobile communication (système global pour les communications mobiles)
iDEN	integrated digital enhanced network (réseau numérique amélioré intégré)
LTE	Long term evolution (Evolution à long terme)
NFC	Near field communication (communication en champ proche)
RFID	Radio-frequency identification (identification par radiofréquence)
ROS	Rapport d'onde stationnaire
TEM	Transverse electromagnetic (mode électromagnétique transverse)
TETRA	Trans-European trunked radio (système radio transeuropéen à ressources partagées)
UMTS	Universal Mobile Telecom System (Système de télécommunication mobile universel)
WiMAX	Worldwide interoperability for microwave access (Interopérabilité dans le monde pour l'accès par micro-ondes)
WLAN	Wireless local area network (réseau local sans fil)

4 Généralités

L'immunité des EST aux perturbations provenant des émetteurs RF peut être vérifiée par essai à l'aide de plusieurs méthodes différentes, y compris celles décrites dans l'IEC 61000-4-3, l'IEC 61000-4-20, l'IEC 61000-4-21, l'IEC 61000-4-22 et la présente partie de l'IEC 61000, comme cela est représenté à la Figure 1. La présente partie de l'IEC 61000 décrit les méthodes d'essai spécifiques à la situation dans laquelle l'émetteur est utilisé à proximité de l'EST et dans le cas de champs magnétiques hétérogènes (voir la Figure 2). Dans ce contexte, le terme «à proximité» fait généralement référence à des distances de séparation entre l'émetteur et l'équipement inférieures ou égales à 200 mm pour les champs RF (fréquences supérieures à 26 MHz) et à 500 mm pour les champs magnétiques (fréquences inférieures à 26 MHz). Les équipements fixes exposés aux dispositifs d'émission portables, les équipements mobiles exposés aux dispositifs fixes d'émission et les équipements mobiles exposés aux autres dispositifs mobiles d'émission sont pris en considération.

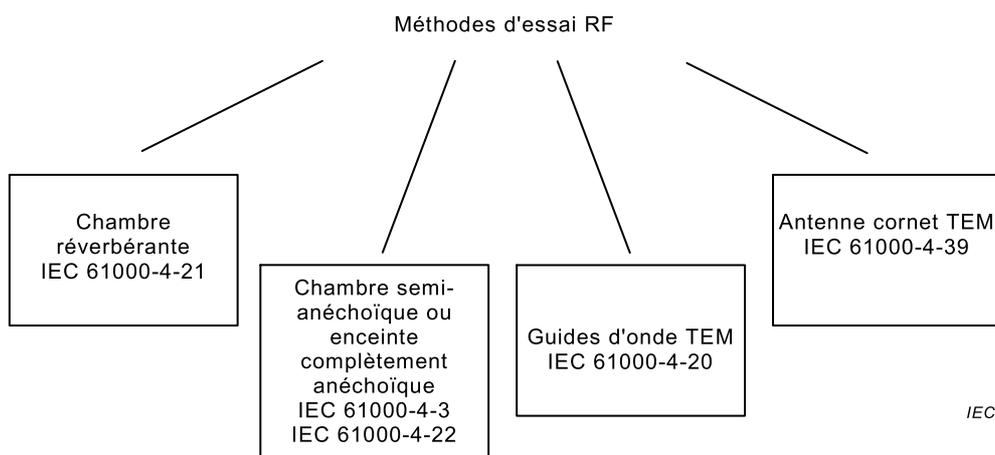


Figure 1 – Vue d'ensemble des méthodes d'essai pouvant être utilisées pour l'évaluation de l'immunité des équipements aux perturbations rayonnées par des émetteurs RF

Méthodes d'essai de l'IEC 61000-4-39

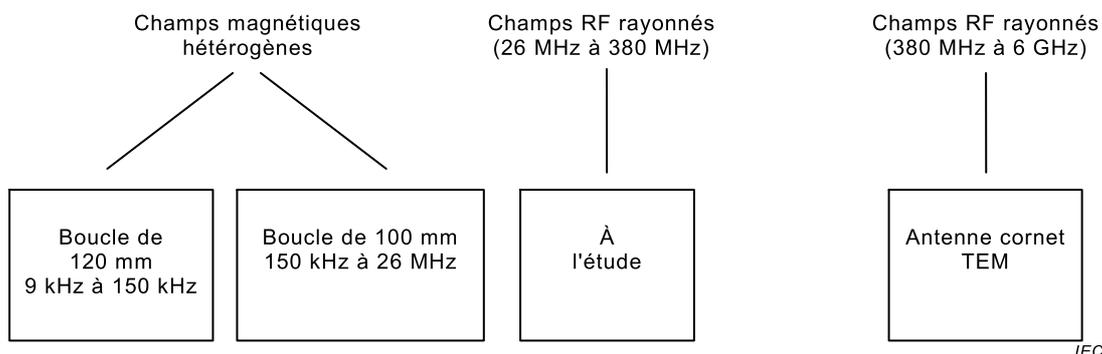


Figure 2 – Méthodes d'essai de proximité traitées dans le présent document

5 Niveaux d'essai

5.1 Généralités

Les perturbations électromagnétiques prises en considération dans le présent document sont limitées aux signaux continus à bande étroite (dont l'impulsion ou l'amplitude peut être modulée jusqu'à 1 kHz) mais ne comprennent pas les signaux perturbateurs fondamentalement transitoires ou impulsifs par nature (par exemple, les impulsions électromagnétiques). Les fréquences ou les bandes de fréquences à choisir pour les essais sont limitées à celles auxquelles les dispositifs d'émission RF intentionnelle fonctionnent réellement.

Il convient de choisir le niveau d'essai appliqué au cours des essais en fonction de la puissance de sortie maximale prévue du dispositif d'émission et de la distance de séparation possible, ou spécifiée, entre son antenne d'émission et l'équipement soumis aux perturbations générées par le dispositif d'émission. Des informations complémentaires peuvent être consultées à l'Annexe B.

5.2 Fréquences d'essai

Les essais ne sont pas destinés à être appliqués de manière continue sur la totalité de la plage de fréquences couverte par le présent document. À cet effet, les plages de fréquences à soumettre aux essais doivent être définies (par les comités de produits, par exemple) en fonction des fréquences auxquelles il est prévu que des interférences soient provoquées par les émetteurs intentionnels situés à proximité.

Le signal d'essai appliqué doit être échelonné dans chaque plage de fréquences, conformément aux conditions suivantes:

- a) L'échelonnement des fréquences est défini à l'aide de pas linéaires dans la plage de fréquences en dessous de 26 MHz (voir le Tableau 5 en 8.5.3).
- b) Au-delà de 26 MHz, les dimensions du pas de fréquence représentent 1 % de la fréquence réelle, sauf lorsque les essais sont réalisés dans des bandes spécifiques d'émissions radioélectriques.
- c) Des essais supplémentaires à des fréquences distinctes peuvent être réalisés à toute(s) fréquence(s) concernée(s).
- d) Si les essais sont effectués dans une bande spécifique d'émissions radioélectriques, le point de départ choisi pour les pas de fréquence est la fréquence médiane de la plage sélectionnée. Les essais sont alors effectués pour les dimensions du pas de fréquence supérieures à la fréquence médiane par pas de 1 % de la fréquence réelle. Des essais sont également effectués à des fréquences inférieures à la fréquence médiane par pas de -1 % de la fréquence réelle.

Il est recommandé d'analyser les fréquences potentiellement sensibles (par exemple, les fréquences d'horloge) séparément, à condition que ces fréquences soient comprises dans la plage de fréquences à soumettre aux essais.

5.3 Niveaux d'essai dans la plage de fréquences de 9 kHz à 150 kHz

Les niveaux d'essai des champs magnétiques hétérogènes dans la plage de fréquences de 9 kHz à 150 kHz sont fournis dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Niveaux d'essai des champs magnétiques hétérogènes, 9 kHz à 150 kHz

Niveau	Intensité du champ d'essai A/m
1	1
2	3
3	10
4	30
X	Spéciale
NOTE X est un niveau d'essai ouvert et l'intensité de champ associée peut être une valeur quelconque. Ce niveau peut être fourni dans la norme de produit.	

Pour le réglage du niveau, les niveaux d'essai fournis dans le Tableau 1 sont les amplitudes du signal non modulé. Pour soumettre l'équipement aux essais, ce signal est modulé en amplitude à 80 % avec une onde sinusoïdale de 1 kHz pour simuler les sources réelles de perturbations (voir la Figure 3 et l'Article B.2). Les détails concernant la réalisation de l'essai sont fournis à l'Article 8.

NOTE Les comités de produits peuvent choisir d'autres schémas de modulation pour l'équipement en essai.

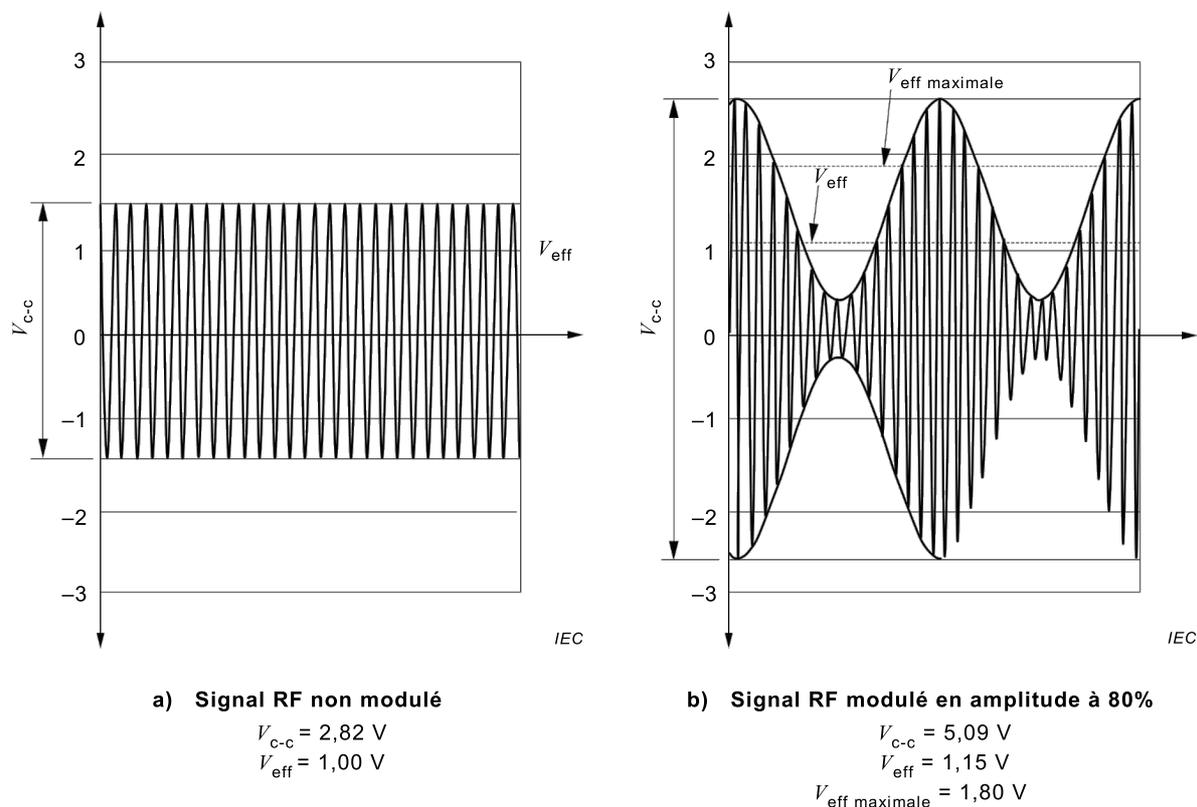


Figure 3 – Définition du niveau d'essai modulé en amplitude à 80 % et formes d'onde en sortie du générateur de signal

5.4 Niveaux d'essai dans la plage de fréquences de 150 kHz à 26 MHz

Les niveaux d'essai des champs hétérogènes dans la plage de fréquences de 150 kHz à 26 MHz sont fournis dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Niveaux d'essai des champs magnétiques hétérogènes, 150 kHz à 26 MHz

Niveau	Intensité du champ d'essai A/m
1	0,1
2	0,3
3	1
4	3
X	Spéciale

NOTE X est un niveau d'essai ouvert et l'intensité de champ associée peut être une valeur quelconque. Ce niveau peut être fourni dans la norme de produit.

NOTE Les niveaux d'essai fournis dans le Tableau 2 diffèrent de ceux fournis dans le Tableau 1, car ils dépendent des types d'équipements et de services générant des perturbations dans les deux différentes plages de fréquences.

L'Annexe B a pour objet de fournir des lignes directrices sur la sélection des niveaux d'essai (voir également le dernier alinéa de 5.1).

Pour le réglage du niveau, les niveaux d'essai fournis dans le Tableau 2 sont les amplitudes du signal non modulé. Pour soumettre l'équipement aux essais, ce signal est modulé en impulsion (voir la Figure 4 et l'Article B.2). La modulation en impulsion doit être faite avec les paramètres suivants:

- rapport cyclique: 50 %
- fréquence de modulation: 2 Hz ou 1 kHz
- rapport on/off: 20 dB minimum

La fréquence de modulation doit être choisie par les comités de produits, en fonction des besoins. Les détails concernant la réalisation de l'essai sont fournis à l'Article 8.

5.5 Niveaux d'essai dans la plage de fréquences de 26 MHz à 380 MHz

Les niveaux d'essai des champs RF dans la plage de fréquences de 26 MHz à 380 MHz sont à l'étude.

5.6 Niveaux d'essai dans la plage de fréquences de 380 MHz à 6 GHz

Les niveaux d'essai des champs RF dans la plage de fréquences de 380 MHz à 6 GHz sont fournis dans le Tableau 3.

Tableau 3 – Niveaux d'essai des champs RF provenant des émetteurs utilisés à proximité, 380 MHz à 6 GHz

Niveau	Intensité du champ d'essai V/m
1	10
2	30
3	100
4	300
X	Spéciale
NOTE X est un niveau d'essai ouvert et la puissance incidente associée peut être une valeur quelconque. Ce niveau peut être fourni dans la norme de produit.	

Pour le réglage du niveau, les niveaux d'essai fournis dans le Tableau 3 sont les amplitudes du signal non modulé. Pour soumettre l'équipement aux essais, ce signal est modulé en impulsion (voir la Figure 4). La modulation en impulsion doit respecter les paramètres suivants:

- rapport cyclique: 50 %
- fréquence de modulation: 2 Hz, 217 Hz ou 1 kHz
- rapport on/off: 20 dB minimum

La fréquence de modulation doit être choisie par les comités de produits, en fonction des besoins.

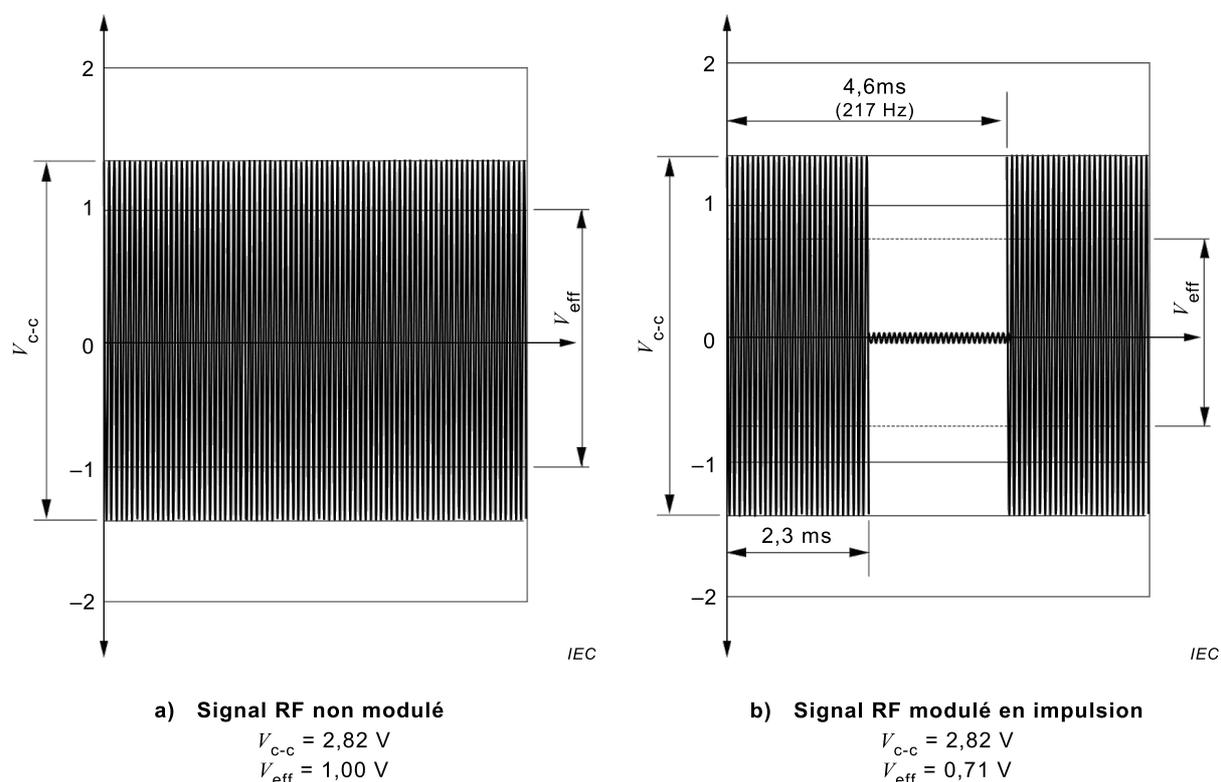


Figure 4 – Exemple de niveau d'essai modulé en impulsion (rapport cyclique de 50 %, 217 Hz) et formes d'onde ensortie du générateur de signal

Le présent document ne prétend pas qu'un niveau d'essai unique est applicable à la totalité de la plage de fréquences. Les comités de produits doivent choisir le niveau d'essai approprié pour chaque plage de fréquences nécessaire aux essais.

6 Matériel d'essai

6.1 Immunité aux champs magnétiques

6.1.1 Généralités

Le matériel d'essai doit comporter les éléments suivants:

- générateur de signal avec capacité de modulation interne ou externe;
- amplificateur de puissance (capable de piloter une charge inductive);
- dispositif générant un champ: boucle rayonnante, (6.1.2.1 ou 6.1.3.1);
- boucle de détection de champ magnétique, (6.1.2.3 ou 6.1.3.2);
- voltmètre;
- sonde de courant, (6.1.2.2).

6.1.2 Immunité aux champs magnétiques entre 9 kHz et 150 kHz

6.1.2.1 Dispositif générant un champ – Boucle rayonnante

La bobine doit avoir les caractéristiques suivantes:

- diamètre: (120 ± 10) mm
- nombre de spires: 20
- diamètre du fil: environ 2,0 mm (AWG12)

La boucle rayonnante décrite dans la norme MIL STD 461G:2015 (essai RS101), est recommandée.

Le champ magnétique non perturbé à une distance de 50 mm du plan de la boucle est déterminé par la Formule (1):

$$H = 75,6 \times I \text{ (A/m)} \text{ (ce qui est égal à } 9,5 \cdot 10^7 \text{ pT/A, comme indiqué dans l'essai RS101) (1)}$$

où

H est l'intensité du champ magnétique (A/m);

I est le courant (A).

La boucle rayonnante doit être caractérisée sur la plage de fréquences si aucun facteur de correction n'est spécifié par le constructeur de la bobine (voir 8.5.1). Les caractéristiques dépendant de la fréquence du capteur de champ magnétique doivent être prises en considération dans le calcul de la valeur du courant pour l'essai de l'équipement.

6.1.2.2 Sonde de courant

Si l'intensité du champ magnétique est vérifiée par le mesurage du courant, la sonde de courant doit permettre d'effectuer le mesurage du courant efficace vrai dans la plage de fréquences de 9 kHz à 150 kHz, soit en utilisant une sonde à pince soit en mesurant la tension aux bornes d'une résistance en série. Un oscilloscope, un voltmètre à courant alternatif à valeur efficace vraie ou un ampèremètre à courant alternatif à valeur efficace vraie peut être utilisé.

6.1.2.3 Boucle de détection de champ magnétique

Si le champ magnétique est vérifié au moyen d'une boucle de détection, il convient que celle-ci réponde aux spécifications suivantes:

- diamètre: (40 ± 2) mm (cependant, tout capteur de champ magnétique d'un diamètre inférieur à 40 mm peut être utilisé)
- nombre de spires: 51
- diamètre du fil: environ 0,07 mm (par exemple, 7 brins 41 AWG)
- blindage: électrostatique
- facteur de conversion: voir les données du constructeur pour obtenir le facteur permettant de convertir la tension de la bobine du capteur en intensité magnétique

Une tension de circuit ouvert U dans la boucle de détection est mesurée en volts au moyen d'un voltmètre à haute impédance.

6.1.3 Immunité aux champs magnétiques entre 150 kHz et 26 MHz

6.1.3.1 Dispositif générant un champ – Boucle rayonnante

La bobine doit avoir les caractéristiques suivantes:

- diamètre: (100 ± 10) mm
- nombre de spires: 3
- diamètre du fil: environ 1,0 mm

Il convient de caractériser la boucle rayonnante sur la plage de fréquences (voir 8.5.2). Les caractéristiques dépendant de la fréquence du capteur de champ magnétique doivent être prises en considération dans le calcul de la valeur du courant pour l'essai de l'équipement.

6.1.3.2 Boucle de détection de champ magnétique

Un dispositif de surveillance adapté de l'intensité de champ magnétique pour cette plage de fréquences a les caractéristiques suivantes:

- diamètre: (40 ± 2) mm (cependant, tout capteur de champ magnétique d'un diamètre inférieur à 40 mm peut être utilisé)
- nombre de spires: 1
- diamètre du fil: environ 0,5 mm
- blindage: électrostatique
- facteur de correction: voir les données du constructeur pour obtenir le facteur permettant de convertir la tension de la bobine du capteur en intensité magnétique (facteur de correction)

6.2 Immunité aux champs RF rayonnés

6.2.1 Dispositifs générant des champs entre 26 MHz et 380 MHz

Le paragraphe 6.2.1 est à l'étude.

6.2.2 Dispositifs générant des champs entre 380 MHz et 6 GHz

6.2.2.1 Antenne cornet TEM

Une antenne cornet TEM doit être utilisée pour un essai d'immunité de proximité sur la plage de fréquences de 380 MHz à 6 GHz. Un exemple des caractéristiques d'une antenne cornet TEM est donné à l'Annexe A.

Lorsqu'une antenne cornet TEM est utilisée, la totalité de la plage de fréquences peut être couverte par une ou plusieurs antennes.

6.2.2.2 Matériel d'essai

Le matériel d'essai doit comporter les éléments suivants:

- La source du signal et sa capacité de modulation interne ou externe.
- Un ou plusieurs amplificateurs de puissance pour amplifier les signaux (modulés et non modulés) et fournir à l'antenne cornet TEM la puissance nécessaire pour obtenir le niveau d'essai souhaité (amplificateurs de puissance capables de fonctionner dans un système à 50Ω et inconditionnellement stables dans toutes les conditions de charge). Les harmoniques générés par l'amplificateur de puissance doivent, jusqu'au troisième harmonique, être au moins 6 dB en dessous de la fréquence fondamentale mesurée à la sortie de l'amplificateur de puissance. Les données fournies par le constructeur du ou des amplificateurs de puissance conviennent pour démontrer la conformité à cette spécification.
- Coupleur directionnel.
- Wattmètre (ou un instrument de mesure équivalent) pour mesurer la puissance incidente.
- Une ou plusieurs antennes cornet TEM générant des champs (voir l'Annexe A).
- Une entretoise ou d'autres moyens permettant de maintenir le point de référence de l'antenne cornet TEM à la distance spécifiée par rapport à l'EST (voir la procédure d'essai). Il convient de prendre en considération l'utilisation d'un matériau à constante diélectrique faible (permittivité faible ϵ_r de 1 environ), tel que le polystyrène rigide.
- Un équipement ou une installation d'essai permettant d'assurer la protection des services radio et/ou du personnel d'essai (par exemple, chambre semi-anéchoïque).
- Une sonde d'intensité de champ. Voir aussi l'Annexe A.

7 Montage d'essai

7.1 Immunité aux champs magnétiques

7.1.1 Installation d'essai

Il convient que les dimensions de la zone d'essai soient suffisantes pour loger tous les matériels d'essai exigés. De plus, la zone d'essai doit être exempte de perturbations pouvant affecter les résultats d'essai. Il convient que la boucle rayonnante soit située à 1 m minimum de toute surface métallique (générateur, amplificateur, simulateur, équipement auxiliaire, etc., à l'exception de l'EST et du sol).

AVERTISSEMENT: Les lignes directrices appropriées (par exemple les règlements nationaux, les recommandations de l'ICNIRP, etc.) doivent être respectées pour la protection du personnel d'essai.

7.1.2 Disposition de l'équipement en essai

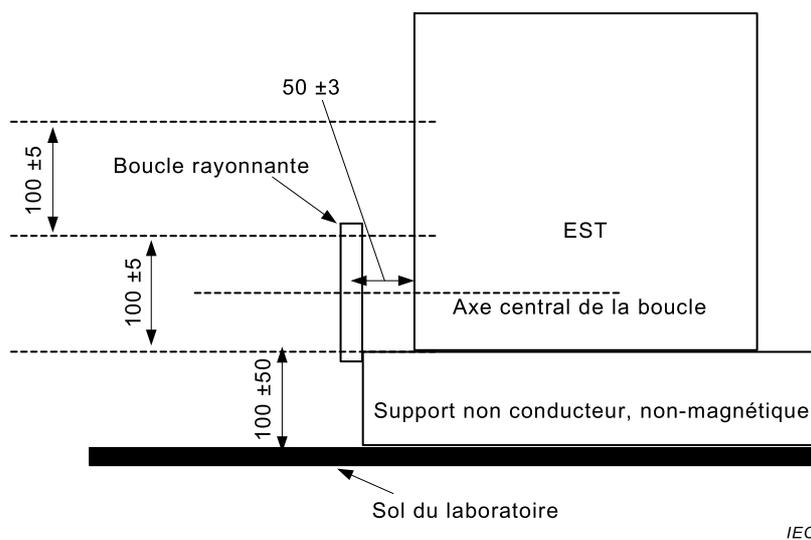
Il convient de positionner l'équipement en essai comme en utilisation normale (sur une table ou sur le sol) sur un support non conducteur à faible perméabilité et configuré comme spécifié en 8.4. Les câbles doivent être raccordés à l'équipement et disposés sur le site d'essai conformément aux instructions du constructeur et doivent reproduire dans toute la mesure du possible les installations et l'utilisation types. Les types de câbles et les connecteurs spécifiés par le constructeur doivent être utilisés. Si le câblage de raccordement à l'équipement n'est pas spécifié, des conducteurs parallèles non blindés doivent être utilisés.

La mise à la terre de l'enveloppe ou du boîtier de l'équipement doit être réalisée conformément aux recommandations d'installation du constructeur. Si la configuration mise à la terre et celle non mise à la terre sont toutes les deux prises en charge, elles doivent toutes les deux être soumises aux essais.

Les EST de table, portables et muraux doivent être placés sur un support non conducteur de $(0,80 \pm 0,05)$ m de hauteur.

Pour les équipements posés au sol, il est acceptable de soumettre les surfaces verticales aux essais à une distance de (100 ± 50) mm au-dessus du sol (voir les Figures 5 et 6).

Dimensions en millimètres

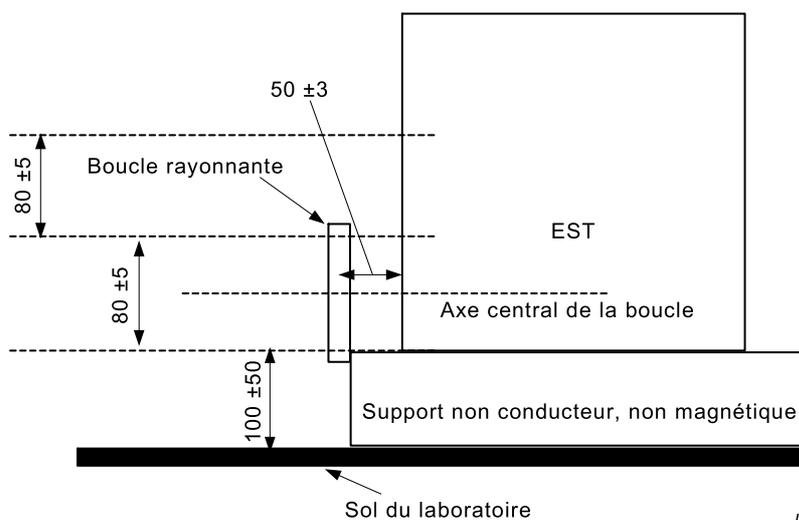


IEC

NOTE Représentation de la position d'essai la plus basse des fenêtres de 100 mm × 100 mm, vue de profil.

Figure 5 – Exemple d'essai d'un EST posé au sol en utilisant l'antenne de la boucle rayonnante – Plage de fréquences de 9 kHz à 150 kHz (dimension de fenêtre 100 mm x 100 mm)

Dimensions en millimètres



IEC

NOTE Représentation de la position d'essai la plus basse des fenêtres de 80 mm × 80 mm, vue de profil.

Figure 6 – Exemple d'essai d'EST posé au sol en utilisant l'antenne de la boucle rayonnante – Plage de fréquences de 150 kHz à 26 MHz (dimension de fenêtre 80 mm x 80 mm)

Il convient de placer les EST posés au sol sur un support non conducteur de (100 ± 50) mm de hauteur. Des roulettes non conductrices à faible perméabilité peuvent être utilisées comme support de (100 ± 50) mm de hauteur.

7.1.3 Méthode d'essai utilisant une boucle rayonnante

Il convient que cette configuration d'essai soit telle que représentée à la Figure 9 (8.5.3). Chaque face soumise à l'illumination par des champs magnétiques en position d'utilisation

normale de l'équipement doit être divisée en zones égales pour l'essai, comme spécifié dans le Tableau 4. Un écart de tolérance sur la distance d'essai (c'est-à-dire une tolérance supérieure à 3 mm) est admis lorsque la tolérance de 3 mm ne peut pas être conservée en raison d'un EST ou d'un montage d'essai particulier (par exemple, surfaces de l'EST non plates). Ces écarts doivent être notés dans le rapport d'essai.

Tableau 4 – Définition de la dimension de fenêtre et de la distance d'essai

Plage de fréquences	Dimensions maximales de fenêtre mm	Distance d'essai <i>d</i> mm
9 kHz à 150 kHz (antenne boucle de 120 mm)	100 x 100	50 ± 3
150 kHz à 26 MHz (antenne boucle de 100 mm)	80 x 80	50 ± 3

La boucle rayonnante doit être positionnée à la distance spécifiée (*d*) du centre de chaque zone et parallèle à la face de l'EST.

7.2 Immunité aux champs RF rayonnés

7.2.1 Installation d'essai

En raison de l'amplitude des intensités de champ générées, les essais doivent être effectués dans une enveloppe blindée pour être conformes aux lois nationales et internationales interdisant la perturbation des radiocommunications. De plus, étant donné qu'une majeure partie de l'équipement d'essai utilisé pour recueillir des données est sensible au champ électromagnétique local ambiant généré au cours de l'exécution de l'essai d'immunité, l'enveloppe blindée assure la «barrière» nécessaire entre l'EST et les instruments d'essai exigés. Des précautions doivent être prises pour s'assurer que tout câblage d'interconnexion pénétrant dans l'enveloppe blindée atténue de manière appropriée l'émission conduite et rayonnée et préserve l'intégrité du signal de l'EST ainsi que les réponses en puissance.

L'installation d'essai est généralement constituée d'une enveloppe blindée à revêtement absorbant suffisamment grande pour loger l'EST tout en permettant un contrôle approprié des intensités de champ.

Il convient que les dimensions de la zone d'essai soient appropriées pour loger tous les matériels d'essai exigés. De plus, la zone d'essai doit être exempte de perturbations pouvant affecter les résultats d'essai. Pour réduire le plus possible les effets des murs et du plafond, la distance minimale entre les surfaces de l'EST et les murs et le plafond de l'installation d'essai doit être supérieure à 0,8 m.

Tous les matériels d'essai, à l'exception de l'antenne cornet TEM, doivent être situés à une distance minimale de 0,8 m de l'EST.

7.2.2 Disposition de l'équipement en essai

L'EST doit être soumis aux essais dans une configuration représentative des applications ou du fonctionnement les plus critiques de l'EST tels que déterminés, par exemple, par des essais préliminaires, une analyse technique ou l'analyse du risque.

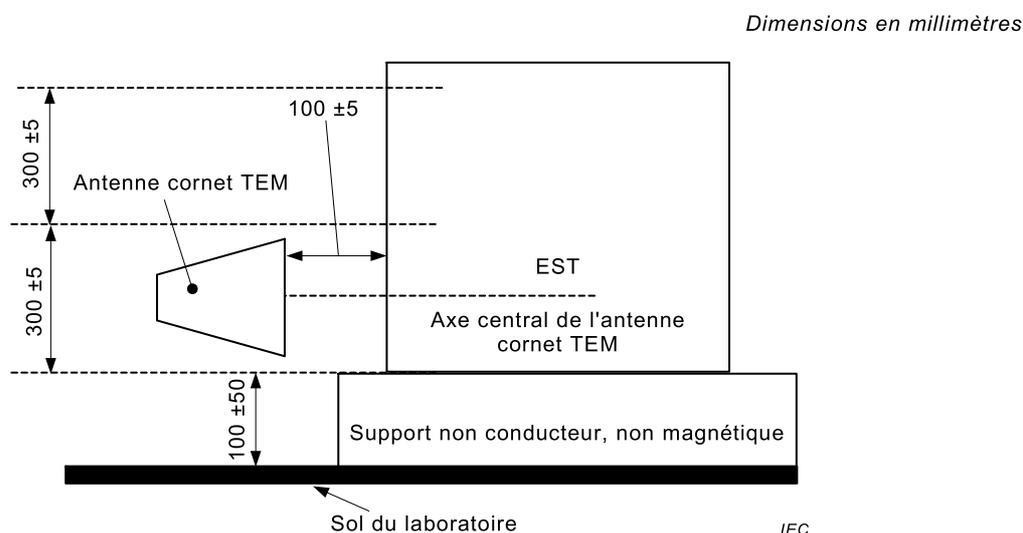
Les câbles doivent être raccordés à l'équipement et disposés sur le site d'essai conformément aux instructions du constructeur. Ils doivent dans toute la mesure du possible reproduire les installations et l'utilisation types. Les types de câbles et les connecteurs spécifiés par le constructeur doivent être utilisés. Si le câblage de raccordement à l'équipement n'est pas spécifié, des conducteurs parallèles non blindés doivent être utilisés.

La mise à la terre de l'enveloppe ou du boîtier de l'équipement doit être réalisée conformément aux recommandations d'installation du constructeur. Si la configuration mise à la terre et celle non mise à la terre sont toutes les deux prises en charge, elles doivent toutes les deux être soumises aux essais.

Les EST de table, portables et muraux doivent être placés sur un support non conducteur de $(0,80 \pm 0,05)$ m de hauteur.

Il convient de placer les EST posés au sol sur un support non conducteur de (100 ± 50) mm de hauteur (voir la Figure 7). Des roulettes non conductrices peuvent être utilisées comme support de (100 ± 50) mm de hauteur.

L'antenne est placée à (100 ± 5) mm de la face exposée de l'EST. Lorsque les surfaces de l'EST ne sont pas plates, ajuster la distance d'essai de chaque fenêtre de sorte que le point le plus proche de l'EST dans cette fenêtre se trouve à (100 ± 5) mm de l'antenne. Tout écart doit être noté dans le rapport d'essai.



NOTE Représentation de la position d'essai la plus basse pour les fenêtres de $300 \text{ mm} \times 300 \text{ mm}$, vue de profil.

Figure 7 – Exemple d'essais d'un EST posé au sol en utilisant une antenne cornet TEM

8 Procédure d'essai

8.1 Généralités

Les essais doivent être réalisés selon un plan d'essai. Contrôler la réponse de l'EST pour chaque fréquence d'essai de chaque perturbation appliquée. Évaluer la conformité avec les critères de performance spécifiés dans le plan d'essai.

8.2 Conditions climatiques

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

Les essais ne doivent pas être réalisés si l'humidité relative génère une condensation sur l'EST ou sur les matériels d'essai.

Lorsque des preuves suffisantes permettent de démontrer que les effets du phénomène couvert par le présent document sont influencés par les conditions climatiques, il convient d'en informer le comité responsable du présent document.

8.3 Conditions électromagnétiques

Les conditions électromagnétiques dans le laboratoire doivent garantir un fonctionnement correct de l'EST pour ne pas affecter les résultats des essais.

8.4 Disposition et modes de fonctionnement de l'EST

Tous les essais de l'équipement doivent être effectués dans une configuration la plus proche possible des conditions réelles d'installation. Le câblage doit être installé conformément aux procédures recommandées par le constructeur et l'équipement doit être placé dans son enveloppe, les capots et les panneaux d'accès étant en place, sauf indication contraire.

Les conditions de fonctionnement de l'EST au cours des essais doivent être conformes à l'utilisation type et prévue de l'équipement en tenant compte des modes de fonctionnement les plus sensibles.

8.5 Immunité aux champs magnétiques

8.5.1 Procédure de réglage du niveau entre 9 kHz et 150 kHz

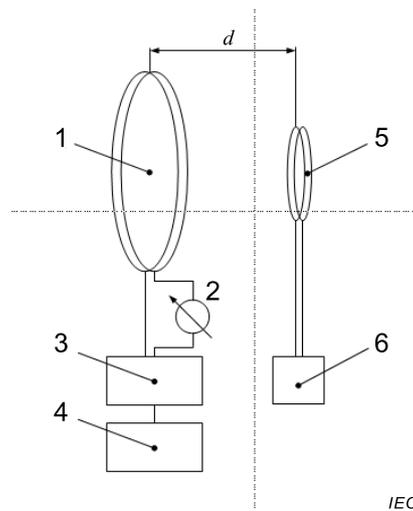
La procédure de réglage du niveau d'essai est la suivante:

- a) Positionner la boucle de détection de champ magnétique décrite en 6.1.2.3 sur l'axe central de l'antenne de la boucle rayonnante et à une distance de (50 ± 3) mm tout en maintenant l'EST à plus de 2 m de l'antenne de la boucle rayonnante. La distance mesurée est la distance entre la partie centrale de l'enroulement de la boucle rayonnante et le centre de l'enroulement de la boucle de détection de champ magnétique.
- b) Raccorder la sortie de la boucle de détection de champ magnétique au voltmètre à haute impédance (voir la Figure 8).
- c) Régler la fréquence du générateur de signal sur la fréquence la plus basse de la plage de l'essai (par exemple, 9 kHz).
- d) Aucun signal de modulation ne doit être appliqué.
- e) Ajuster le courant de la boucle rayonnante au niveau calculé correspondant au niveau d'essai (10 A/m en valeur efficace correspond à un courant de boucle de 0,132 A en valeur efficace).
- f) Lire la tension induite sur la boucle de détection de champ magnétique.
- g) Calculer l'intensité de champ mesurée en appliquant le facteur de conversion de la boucle de détection de champ magnétique à la tension à la fréquence réelle. L'écart entre l'intensité de champ mesurée et le niveau d'essai spécifié ne doit pas être supérieur à $\pm 10\%$. Si l'écart est supérieur, le montage d'essai et les facteurs d'étalonnage doivent être revérifiés et corrigés.
- h) Augmenter la fréquence en appliquant un pas non supérieur à celui spécifié dans le Tableau 5.
- i) Répéter les étapes d) à h) jusqu'à ce que dans la séquence, la fréquence suivante soit telle qu'elle excéderait la fréquence la plus élevée de la plage de l'essai. Finalement, répéter les étapes d) à h) à cette fréquence la plus élevée (par exemple 150 kHz).
- j) À cette fréquence la plus élevée, enclencher la modulation du signal d'essai et vérifier son bon déroulement (voir la Figure 3).

8.5.2 Procédure de réglage du niveau entre 150 kHz et 26 MHz

La procédure de réglage du niveau d'essai est la suivante:

- a) Positionner la boucle de détection de champ magnétique décrite en 6.1.2.3 sur l'axe central de l'antenne de la boucle rayonnante et à une distance de (50 ± 3) mm en maintenant l'EST à plus de 2 m de l'antenne de la boucle rayonnante. La distance mesurée est la distance entre la partie centrale de l'enroulement de la boucle rayonnante et le centre de l'enroulement de la boucle de détection de champ magnétique.
- b) Raccorder la boucle rayonnante au générateur de signal/à l'amplificateur et la sortie de la boucle de détection de champ magnétique à un récepteur de mesure.
- c) Régler la fréquence du générateur de signal sur la fréquence la plus basse de la plage de l'essai (par exemple 150 kHz). Aucun signal de modulation ne doit être appliqué au cours du processus de réglage du niveau.
- d) Régler et enregistrer la puissance incidente exigée (dans la boucle rayonnante) pour atteindre le niveau d'essai souhaité (qui est mesuré par la boucle de détection de champ magnétique et un récepteur de mesure).
- e) Augmenter la fréquence en appliquant un pas non supérieur à celui spécifié dans le Tableau 5.
- f) Répéter les étapes d) et e) jusqu'à ce que dans la séquence, la fréquence suivante soit telle qu'elle excéderait la fréquence la plus élevée de la plage de l'essai. Finalement, répéter les étapes d) et e) à cette fréquence la plus élevée (par exemple 26 MHz).
- g) À cette fréquence la plus élevée, enclencher la modulation du signal d'essai et vérifier son bon déroulement (voir la Figure 4).



IEC

Légende

- | | |
|----------|---|
| 1 | boucle rayonnante |
| 2 | sonde de courant |
| 3 | amplificateur |
| 4 | générateur de signal |
| 5 | boucle de détection de champ magnétique |
| 6 | voltmètre à haute impédance |
| <i>d</i> | distance d'essai |

Figure 8 – Réglage du niveau de la boucle rayonnante

8.5.3 Exécution de l'essai

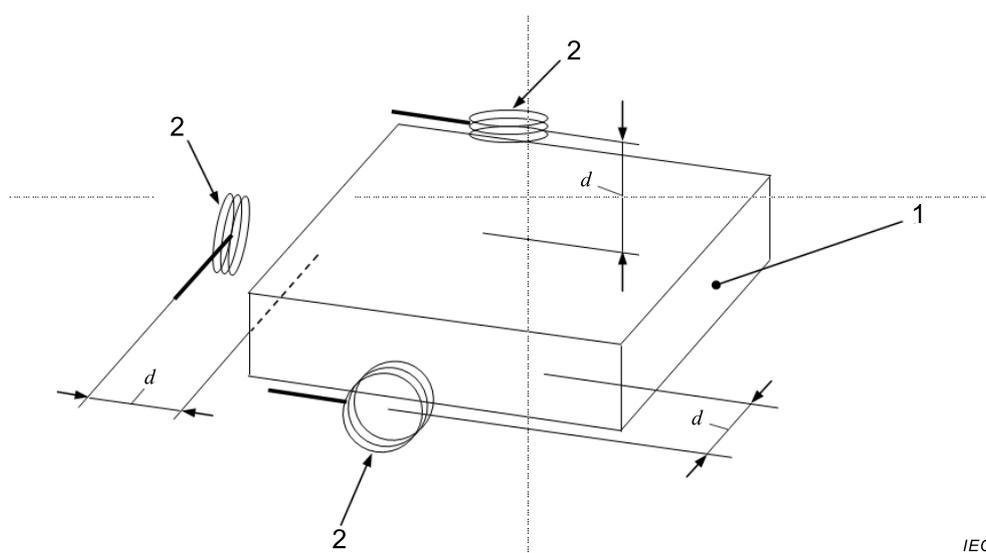
L'essai doit être effectué selon un plan d'essai.

L'essai est effectué en exposant l'EST au signal d'essai au niveau défini dans le Tableau 1 (voir 5.3 et 5.4). Le montage d'essai est tel que représenté à la Figure 9.

L'équipement fonctionnant dans les modes identifiés en 8.3, en fonction de la plage de fréquences, placer la bobine rayonnante à la distance d'essai d (50 ± 3) mm du point d'essai de l'équipement (voir la Figure 9). Orienter le plan de la boucle de détection parallèlement aux faces de l'équipement. Générer les niveaux de champs magnétiques définis selon les résultats de la vérification (voir 8.5.1 et 8.5.2).

Les essais ne sont pas destinés à être nécessairement appliqués de manière continue sur la totalité de la plage de fréquences. Des fréquences d'essai spécifiques peuvent être choisies par les comités de produits, le cas échéant, ou les fréquences spécifiées dans le Tableau 5 peuvent être choisies.

Les plages de fréquences à considérer sont balayées avec le signal modulé conformément à l'Article 5, en s'arrêtant pour ajuster le niveau du signal RF ou pour commuter les oscillateurs et les boucles rayonnantes, le cas échéant. La plage de fréquences est balayée par incréments, la dimension du pas de fréquence étant telle que définie dans le Tableau 5. Le temps de palier à chaque pas de fréquence dépend du temps de réaction de l'équipement et doit être suffisamment long pour que l'équipement puisse répondre de manière appropriée au signal d'essai. Le temps de palier minimal est de 2 s. Un temps de palier supplémentaire à chaque fréquence d'essai peut être nécessaire pour permettre à l'EST de fonctionner dans les modes de fonctionnement appropriés. Le temps de palier doit être noté dans le rapport d'essai.



IEC

Légende

- 1 équipement en essai
- 2 exposition à toutes les surfaces de l'EST
- d distance d'essai

Figure 9 – Principe d'essai d'un équipement avec boucle rayonnante

Tableau 5 – Dimensions des pas de fréquence maximaux, essai d'immunité aux champs magnétiques

Bande de fréquences kHz	Dimensions des pas linéaires kHz
9 à 150	10
150 à 1 000	100
1 000 à 26 000	1 000

Exposer les surfaces de l'équipement soumises à l'illumination par des champs magnétiques en utilisation normale. Lorsque cela est possible, il est recommandé de soumettre aux essais toutes les faces d'un équipement de table et portable. Pour les équipements posés au sol, il convient de ne pas soumettre la face inférieure aux essais.

Sauf indication contraire dans les normes génériques, de produits ou de familles de produits, l'exposition au champ magnétique doit être réalisée uniquement aux points et sur les surfaces de l'EST qui peuvent être considérés comme des accès d'entrée aux champs magnétiques. Les zones suivantes n'exigent pas d'essais:

- a) les surfaces sur lesquelles des barrières mécaniques sont fixées hors de l'équipement empêchant le positionnement de sources de champs magnétiques à moins de 0,25 m de la surface de l'équipement;
- b) les surfaces construites pour empêcher le positionnement de sources magnétiques à moins de 0,25 m de composants actifs (capteurs, câbles, cartes de circuit imprimé, etc.) situés à l'intérieur de l'équipement (par exemple, boîtier en plastique comportant un espace entre l'équipement et le boîtier ou boîtier couvrant uniquement les constructions mécaniques passives);
- c) les points et les surfaces de l'équipement qui ne sont plus accessibles aux émetteurs RF portables à proximité après installation fixe ou après avoir suivi les instructions d'utilisation (par exemple, la partie inférieure et/ou la partie murale de l'équipement ou des zones);
- d) les surfaces en matériau ferromagnétique homogène (épaisseur > 0,25 mm) constituées d'une pièce de dimension supérieure à 150 % du diamètre de la boucle dans chacune des deux dimensions pertinentes;
- e) les surfaces ou zones de l'EST exposées aux champs électromagnétiques émis par des dispositifs d'émission portables utilisés à proximité uniquement pendant les opérations d'entretien ou de maintenance.

Si la disposition spécifiée ci-dessus ne peut pas être effectuée, par exemple en raison des dépressions ou des renflements spécifiques au produit ou des câbles raccordés, la position la plus critique pour la proximité de dispositifs d'émission portables doit être identifiée et soumise à des essais. Cette situation particulière doit être notée dans le rapport d'essai.

8.6 Immunité aux champs RF rayonnés

8.6.1 Procédure de réglage du niveau

La procédure de réglage du niveau d'essai est la suivante:

- a) Positionner le capteur de champ dans une chambre anéchoïque le long de l'axe central de l'antenne cornet TEM à une distance de (100 ± 5) mm de la face avant de l'antenne cornet TEM (voir la Figure 11).
- b) Régler la fréquence du générateur de signal sur la fréquence la plus basse de la plage de l'essai (par exemple, 380 MHz).
- c) Régler une puissance incidente pour générer le niveau d'essai cible (par exemple, 100 V/m). Enregistrer les lectures de puissance incidente et d'intensité de champ.
- d) Augmenter la fréquence de 1 % de la fréquence actuelle au maximum.
- e) Répéter les étapes c) et d) jusqu'à ce que dans la séquence, la fréquence suivante soit telle qu'elle excéderait la fréquence la plus élevée de la plage de l'essai. Finalement, répéter l'étape c) à cette fréquence la plus élevée (par exemple 6 GHz).
- f) À cette fréquence la plus élevée, enclencher la modulation du signal d'essai et vérifier son bon déroulement (voir la Figure 3 (en 5.3) et la Figure 4 (en 5.6)).

8.6.2 Exécution de l'essai

L'antenne est déplacée en fonction des dimensions de la fenêtre de la zone uniforme couverte par l'antenne cornet TEM utilisée. Cette action est répétée jusqu'à ce que toutes les zones choisies de la surface de l'EST aient été vérifiées. Voir l'Annexe A pour de plus amples informations sur la détermination des dimensions de la zone uniforme couverte par l'antenne cornet TEM.

La Figure 10 représente un exemple d'essai effectué à l'aide d'une antenne cornet TEM ayant une fenêtre d'uniformité de champ de 300 mm x 300 mm. Dans cet exemple, l'antenne est placée à six emplacements pour soumettre à l'essai la totalité de la surface de l'EST.

Dimensions en millimètres

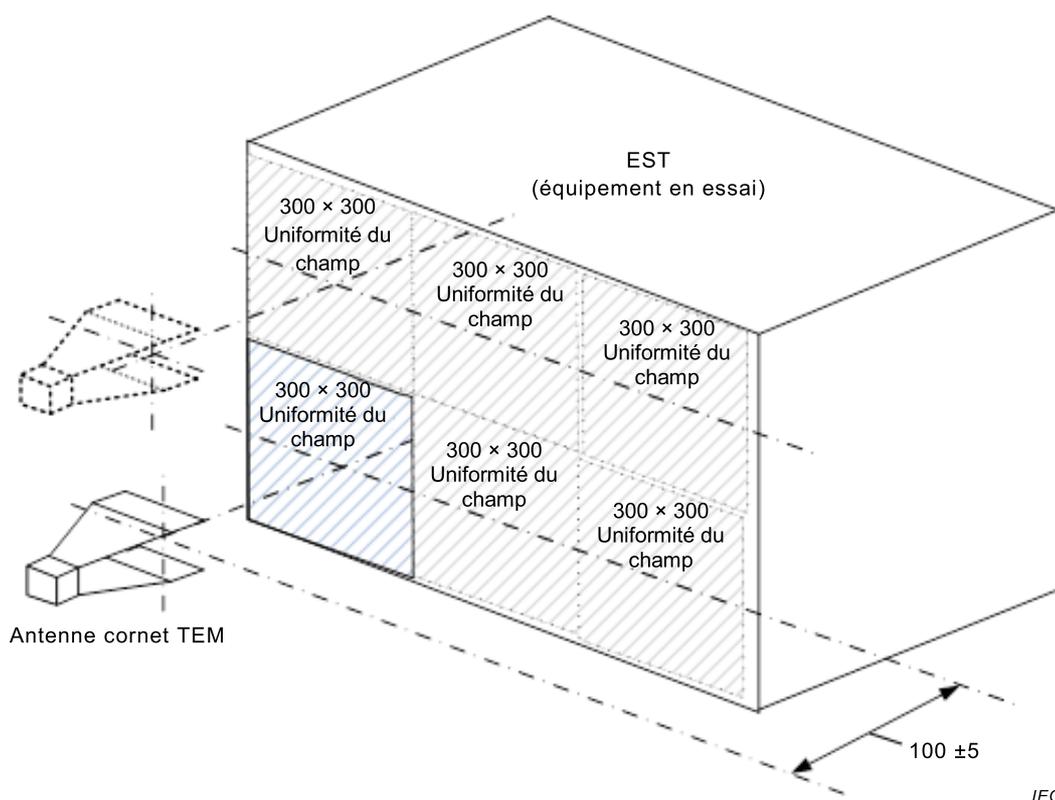


Figure 10 – Exemple de gabarit d'essai utilisant une fenêtre de dimensions 300 mm x 300 mm pour la zone uniforme

Les plages de fréquences sélectionnées sont balayées avec le signal modulé conformément à l'Article 5. La plage de fréquences est balayée par incréments, la dimension des pas de fréquence étant telle que définie en 5.2. Le temps de palier dépend du temps de réaction de l'EST et doit être suffisamment long pour que l'EST puisse répondre de manière appropriée au signal d'essai. Le temps de palier minimal est de 1 s. Au moins deux cycles complets de modulation du signal d'essai de perturbation doivent être appliqués à chaque fréquence d'essai. Un temps de palier supplémentaire à chaque fréquence d'essai peut être nécessaire pour permettre à l'EST de fonctionner dans les modes de fonctionnement appropriés. Le temps de palier doit être noté dans le rapport d'essai.

Toutes les surfaces de l'EST pouvant être soumises à l'exposition aux champs électromagnétiques émis par des dispositifs d'émission portables utilisés à proximité de l'EST en mode de fonctionnement normal doivent être prises en considération pour les essais. Lorsque cela est possible, il est recommandé de soumettre aux essais toutes les faces d'un équipement de table et portable. Pour les équipements posés au sol, il convient de ne pas soumettre la face inférieure aux essais.

Sauf indication contraire dans les normes génériques, de produits ou de familles de produits, l'exposition au champ électromagnétique doit être réalisée uniquement aux points et sur les surfaces de l'EST qui peuvent être considérés comme des accès d'entrée aux champs électromagnétiques émis par des dispositifs utilisés à proximité. Les zones suivantes n'exigent pas d'essais:

- a) les surfaces de l'EST sur lesquelles des barrières mécaniques sont fixées hors de l'équipement empêchant le positionnement de sources de champs électromagnétiques à moins de 0,25 m de la surface de l'équipement;
- b) les surfaces de l'EST construites pour empêcher le positionnement de sources de perturbations à moins de 0,25 m de composants actifs (capteurs, câbles, carte de circuit imprimé, etc.) situés à l'intérieur de l'équipement (par exemple, boîtier en plastique comportant un espace entre l'équipement et le boîtier ou boîtier couvrant uniquement les constructions mécaniques passives);
- c) les points et les surfaces de l'équipement qui ne sont plus accessibles aux émetteurs RF portables à proximité après installation fixe ou après avoir suivi les instructions d'utilisation (par exemple, la partie inférieure et/ou la partie murale de l'équipement ou des zones);
- d) les surfaces en matériau métallique homogène (épaisseur > 0,25 mm) constituées d'une pièce de dimension supérieure à 150 % de la zone uniforme du cornet TEM;
- e) les surfaces ou les zones de l'EST exposées aux champs électromagnétiques émis par des dispositifs d'émission portables utilisés à proximité uniquement pendant les opérations d'entretien ou de maintenance.

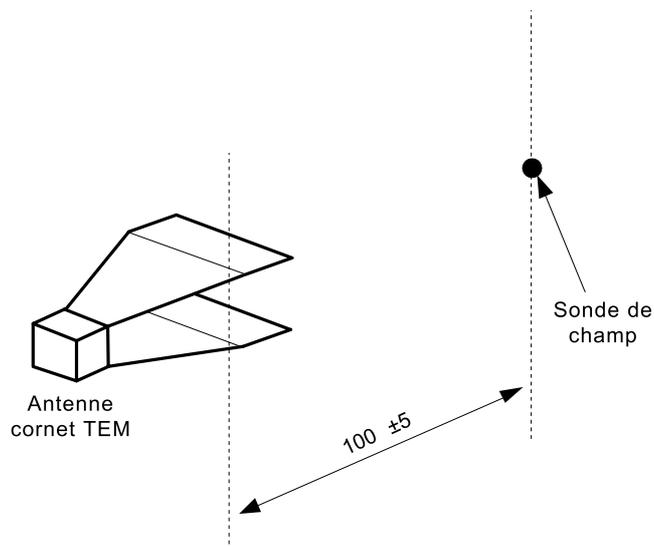
Toutes les surfaces de l'équipement qui doivent être soumises aux essais doivent être divisées en plusieurs fenêtres. Les dimensions physiques de chaque fenêtre sont établies conformément à l'Annexe A.

Chaque fenêtre doit être illuminée en utilisant l'orientation horizontale et verticale de l'antenne cornet TEM (voir la Figure 12). La distance de séparation entre l'antenne cornet TEM et les surfaces de l'EST doit être de (100 ± 5) mm. L'antenne cornet TEM doit être positionnée à la distance spécifiée du centre de chaque zone, l'axe central de l'antenne cornet TEM étant perpendiculaire à la surface de l'EST. Il convient d'éviter tout mouvement de l'antenne cornet TEM au cours de l'exposition.

Si la disposition spécifiée ci-dessus ne peut pas être effectuée, par exemple en raison des dépressions ou des renflements spécifiques au produit ou des câbles raccordés, la position la plus critique pour la proximité de dispositifs d'émission portables doit être identifiée et soumise à des essais. Cette situation particulière doit être notée dans le rapport d'essai. En cas de câbles raccordés situés à proximité de la surface de l'EST soumise à l'essai, il n'est pas exigé de placer l'antenne cornet TEM à moins de 100 mm des câbles.

Pour chaque point d'essai, surveiller la réaction de l'équipement. Évaluer la conformité aux critères de conformité à l'immunité spécifiés dans le plan d'essai.

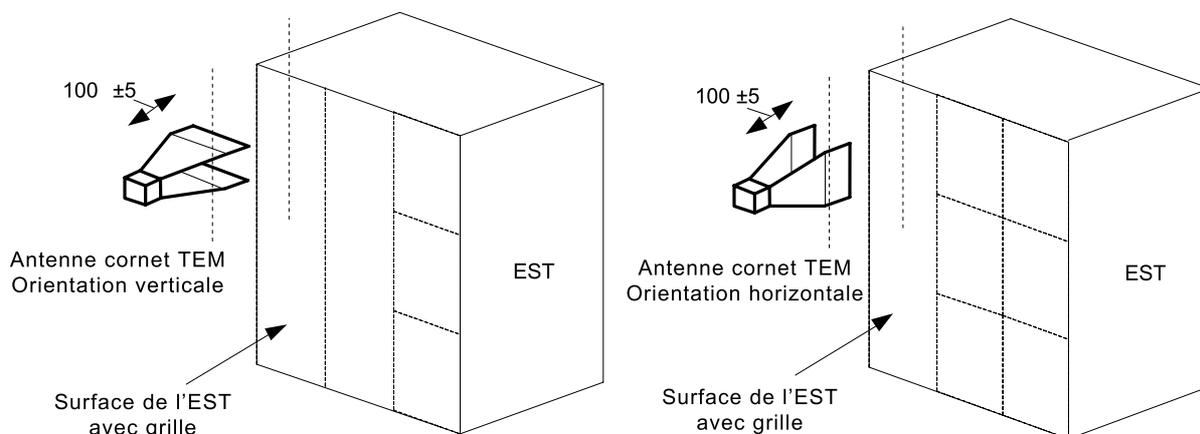
Dimensions en millimètres



IEC

Figure 11 – Disposition du réglage de niveau

Dimensions en millimètres



IEC

Figure 12 – Exemple d'orientations de l'antenne cornet TEM

9 Évaluation des résultats d'essai

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

- aptitude à la fonction normale dans les limites spécifiées par le constructeur, le demandeur de l'essai ou l'acheteur;
- perte de fonction ou dégradation temporaire de l'aptitude à la fonction cessant après la disparition de la perturbation; le matériel soumis à l'essai retrouve alors son aptitude à la fonction normale sans l'intervention d'un opérateur;
- perte de fonction ou dégradation temporaire de l'aptitude à la fonction dont la correction nécessite l'intervention d'un opérateur;

- d) perte de fonction ou dégradation de l'aptitude à la fonction non récupérable, due à un matériel ou un logiciel endommagé, ou à une perte de données.

Les spécifications du constructeur peuvent définir des effets sur l'EST qui peuvent être considérés comme non significatifs et donc acceptables.

Cette classification peut être utilisée par les comités responsables des normes génériques, de produits et de familles de produits comme un guide pour l'élaboration des critères d'aptitude à la fonction, ou comme un cadre pour convenir des critères d'aptitude à la fonction entre le constructeur et l'acheteur, par exemple en l'absence de toute norme générique, de produit ou de famille de produits appropriée.

10 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit comprendre toutes les informations nécessaires pour reproduire l'essai. En particulier, ce qui suit doit être enregistré:

- a) l'identification de l'EST et de tous les matériels associés, par exemple: marque, type de produit, numéro de série;
- b) les points spécifiés dans le plan d'essai exigés à l'Article 8 du présent document;
- c) l'identification des matériels d'essai, par exemple: marque, type de produit, numéro de série;
- d) toutes les conditions d'environnement particulières dans lesquelles l'essai a été effectué;
- e) toutes les conditions spécifiques nécessaires à la réalisation de l'essai;
- f) le niveau de fonctionnement défini par le constructeur, le demandeur de l'essai ou l'acheteur;
- g) les critères d'aptitude à la fonction spécifiés dans la norme générique, de produit ou de famille de produits;
- h) tous les effets observés sur l'EST pendant ou après l'application de la perturbation d'essai, et la durée pendant laquelle ces effets ont persisté;
- i) la justification de la décision de réussite/d'échec (basée sur le critère d'aptitude à la fonction spécifié dans la norme générique, de produit ou de famille de produits, ou dans l'accord entre le constructeur et l'acheteur);
- j) toutes les conditions spécifiques d'utilisation, par exemple longueur ou type de câble, blindage ou mise à la terre, ou les conditions de fonctionnement de l'EST, qui sont exigées pour assurer la conformité;
- k) une description complète de la position et de l'orientation du câblage et de l'équipement doit figurer dans le rapport d'essai; dans certains cas, une image peut suffire;
- l) les conditions de fonctionnement représentatives de l'EST;
- m) une description de la méthode de mise en fonctionnement de l'EST;
- n) la plage de fréquences d'application de l'essai;
- o) le temps de palier de la fréquence d'essai et la dimension des pas de fréquence;
- p) le niveau d'essai appliqué;
- q) la modulation du signal de perturbation appliqué;
- r) les positions de l'antenne de la boucle et de l'antenne/des antennes cornet TEM par rapport à l'EST;
- s) le niveau de fonctionnement défini par le constructeur, le demandeur de l'essai ou l'acheteur;
- t) les critères d'aptitude à la fonction qui ont été appliqués;
- u) tous les effets observés sur l'EST pendant ou après l'application de la perturbation d'essai et la durée pendant laquelle ces effets ont persisté.

Annexe A (normative)

Antenne cornet TEM

A.1 Généralités

L'Annexe A présente une série de paramètres auxquels les antennes cornet TEM utilisées au cours des essais de proximité doivent satisfaire. Les paramètres sont établis d'après l'analyse numérique d'onde complète de certaines structures pouvant être utilisées comme sources potentielles. La description de la structure n'a pas pour objet de permettre aux sociétés commerciales de décider de l'approche à adopter pour répondre à ces paramètres. Le principal paramètre défini est l'uniformité du champ ou la répartition du champ à proximité de l'antenne. Les paramètres définis dans la présente annexe sont les suivants:

- a) la plage de fréquences
- b) le rapport d'onde stationnaire (ROS)
- c) la répartition du champ

A.2 Plage de fréquences

La plage de fréquences applicable est celle des fréquences comprises entre 380 MHz et 6 GHz. Cependant, il est admissible d'utiliser plusieurs antennes pour couvrir la plage.

A.3 ROS

Le ROS de l'antenne ne doit pas dépasser 3:1.

A.4 Répartition du champ

La caractérisation de l'antenne constitue la partie la plus critique de cette approche. Les méthodes actuelles d'étalonnage d'antenne en champ proche, par exemple, la norme SAE ARP 958D, ne sont pas appropriées, car elles ne caractérisent pas l'uniformité de l'illumination sur l'ouverture de l'antenne.

L'Annexe A a pour objet d'assurer l'uniformité du champ appliqué à une certaine distance de l'antenne cornet TEM. Les dimensions de l'uniformité du champ dépendent de la capacité de l'antenne cornet TEM et définissent donc la zone maximale illuminée. Par conséquent, le présent document ne donne aucune spécification concernant les dimensions de l'antenne. Une antenne ayant une plus grande zone d'uniformité de champ peut optimiser l'efficacité de l'essai.

L'intensité du champ de la zone illuminée de l'antenne TEM doit être comprise dans la plage allant de 0 dB à 4 dB en dessous de l'intensité maximale du champ à une distance de 100 mm de l'antenne TEM.

Pour vérifier l'uniformité du champ d'une antenne cornet TEM, une chambre anéchoïque doit être utilisée. Afin d'éviter les réflexions, des matériaux absorbants supplémentaires peuvent être utilisés sur le sol.

Une petite sonde d'intensité de champ doit être positionnée à une distance de (100 ± 5) mm de la surface frontale extérieure de l'antenne cornet TEM. La sonde doit pouvoir mesurer l'intensité du champ dans une polarisation unique de champ. Les dimensions du capteur de la sonde de champ doivent être inférieures à 1/3 des dimensions les plus petites de l'ouverture de l'antenne cornet TEM.

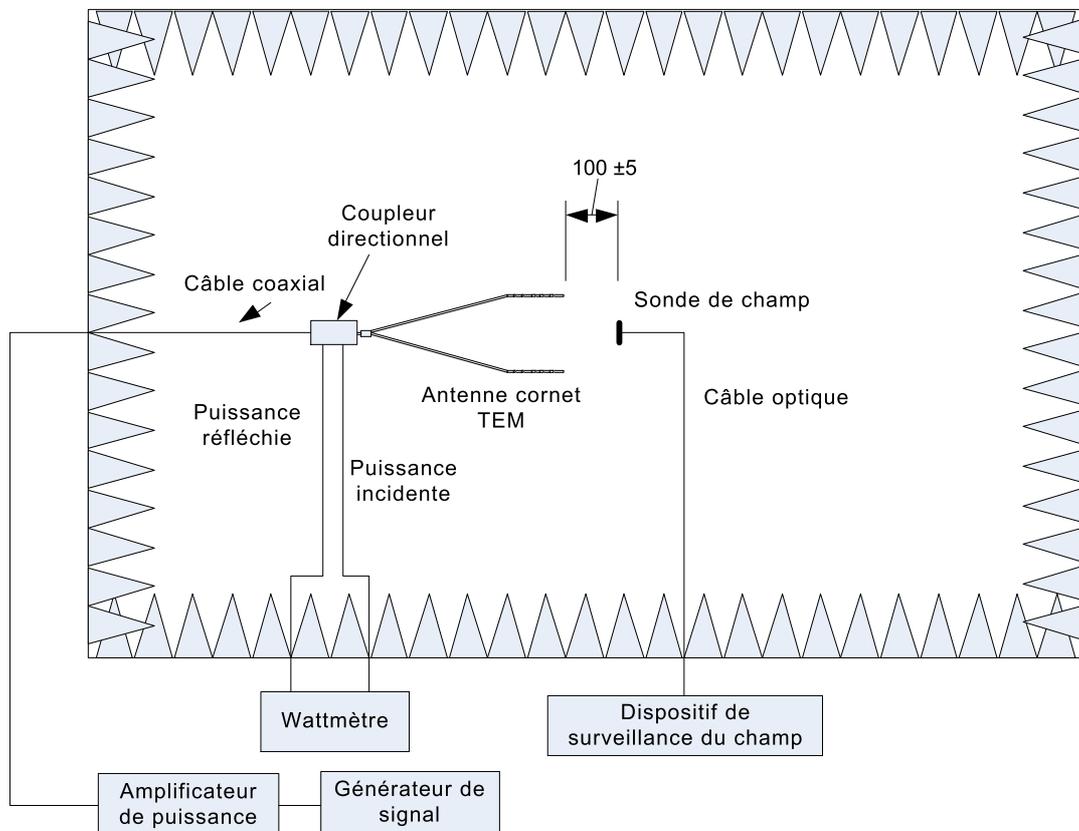
La procédure de vérification de l'uniformité de champ de l'antenne cornet TEM se déroule comme suit.

- a) Définir une grille de 25 mm x 25 mm commençant au point central et couvrant la zone uniforme souhaitée. Le point central longe l'axe central de l'antenne cornet TEM.
- b) Positionner la sonde de champ au centre de la grille à une distance de (100 ± 5) mm de la surface frontale de l'antenne cornet TEM (voir les Figures A.1 et A.2).
- c) Enregistrer les valeurs lues de la puissance incidente et de l'intensité du champ dans la plage de fréquences (augmentation de la fréquence de 1 % au maximum par rapport à la fréquence actuelle) spécifiée pour l'essai ou l'antenne en utilisant un niveau approprié d'intensité de champ (par exemple, 100 V/m).
- d) Répéter l'étape c) en plaçant la sonde de champ à chaque point de la grille.
- e) Trier les valeurs enregistrées pour la puissance incidente (en cas d'intensité de champ constante) ou pour l'intensité de champ (en cas de puissance constante) dans l'ordre décroissant pour tous les pas de fréquence.
- f) La zone de champ uniforme utilisable de l'antenne cornet TEM est définie par la zone dans laquelle toutes les positions adjacentes de la sonde se trouvent de 0 dB à -4 dB de l'intensité maximale de champ enregistrée aux étapes b) à d).

NOTE Les données concernant l'uniformité de champ sont généralement fournies par le constructeur de l'antenne et elles peuvent être utilisées par le laboratoire d'essai.

La Figure A.3 donne un exemple de tracé d'uniformité de champ d'une antenne cornet TEM.

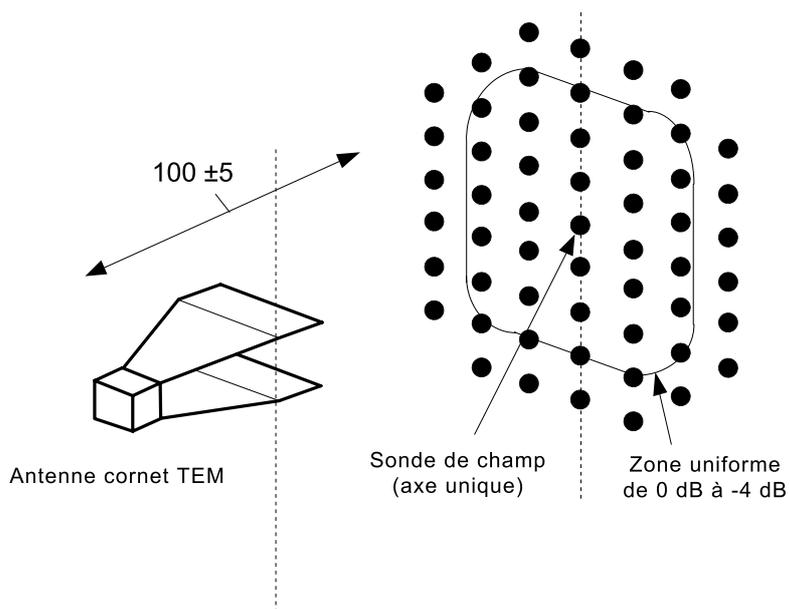
Dimensions en millimètres



IEC

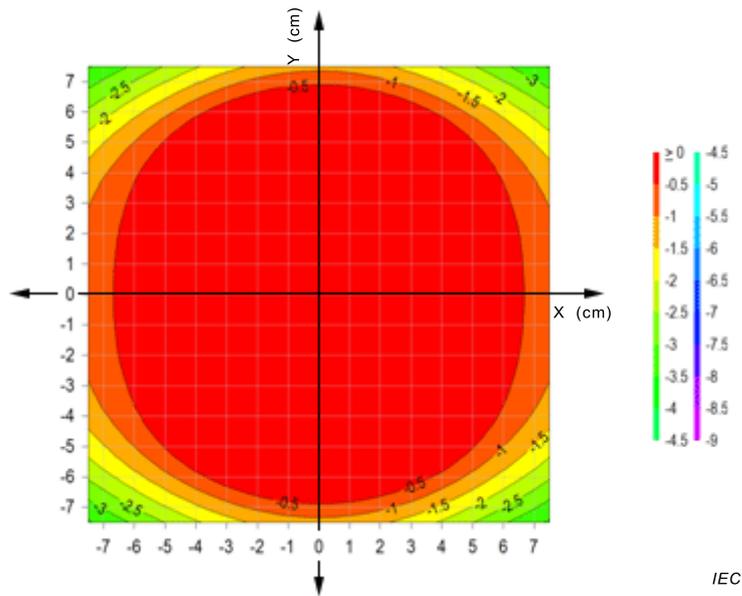
Figure A.1 – Exemple de montage de vérification d'uniformité de champ

Dimensions en millimètres



IEC

Figure A.2 – Montage de mesure d'uniformité de champ



Pour cette antenne, l'intensité de champ varie de moins de 0,5 dB dans une zone de 100 mm x 100 mm.

Figure A.3 – Exemple d'uniformité de champ à 1,5 GHz (simulation) pour antenne cornet TEM ayant une ouverture de 205 mm x 205 mm

A.5 Conception générale de l'antenne cornet TEM

La Figure A.4 représente le principe de conception générale d'une antenne cornet TEM.

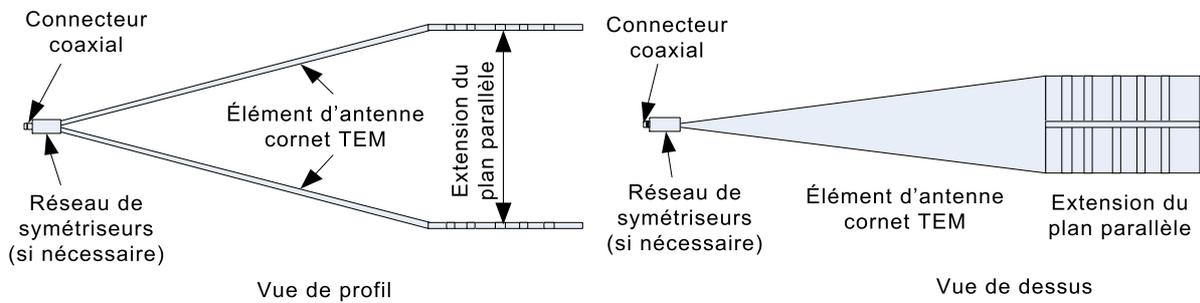


Figure A.4 – Exemple de principe de conception générale d'antenne cornet TEM

IEC

Annexe B (informative)

Fréquences, niveaux et modulations d'essai

B.1 Généralités

Il convient de choisir les niveaux d'essai conformément à l'environnement électromagnétique auquel l'EST et les câbles peuvent être exposés dans des environnements normaux d'installation. Il convient de garder à l'esprit les conséquences d'une défaillance lors du choix du niveau d'essai à utiliser. Un niveau supérieur peut être exigé si les conséquences d'une défaillance sont importantes.

Si l'EST doit être installé sur quelques sites uniquement, l'examen des sources RF locales permet de calculer les intensités de champ susceptibles d'être observées.

Pour les équipements destinés à fonctionner dans différents emplacements, les lignes directrices suivantes peuvent être suivies lors du choix du niveau d'essai à utiliser.

B.2 Émetteurs magnétiques dans la plage de fréquences de 9 kHz à 26 MHz

Dans la plage de fréquences de 9 kHz à 26 MHz, un certain nombre de nouvelles technologies ou d'applications novatrices de technologies établies peuvent contribuer à augmenter la probabilité d'interaction. Par exemple:

- les dispositifs de surveillance électronique d'articles (EAS),
- les systèmes de contrôle d'accès (identification par radiofréquence – RFID),
- les systèmes ferroviaires à sustentation magnétique,
- les procédures médicales à radiofréquences (RF), telles que la chirurgie à haute fréquence et la thérapie par ablation,
- les détecteurs de métaux,
- l'utilisation de répondeurs pour la régulation du trafic,
- le chargement sans fil/transfert de puissance par induction.

Voir l'IEC TR 61000-2-5 pour de plus amples informations concernant les services fonctionnant dans la plage de fréquences de 9 kHz à 26 MHz.

Les fréquences d'essai, les niveaux d'essai et les exigences de modulation pour la plage de fréquences de 9 kHz à 26 MHz sont définis en 5.2, 5.3 et 5.4.

B.3 Services radio dans la plage de fréquences de 26 MHz à 6 GHz

Ces sources de perturbation sont identifiées dans l'IEC 61000-4-3:2006, Annexe G, dans l'ISO 11451-3, dans l'ISO 11452-9:2012, Annexe A, et sont indiquées dans le Tableau B.1. Les intensités de champ calculées peuvent être utilisées pour déterminer un niveau d'essai approprié pour l'évaluation de l'immunité à ces services radio.

Tableau B.1 – Lignes directrices concernant les niveaux d'essai de certains équipements RF de communication sans fil

Bande ^a (MHz)	Service ^a	Modulation	Puissance maximale (W)	Distance de calcul (m)	Intensité de champ calculée (Eff) (V/m)
26,xx to 27,xx	ISM	AM, FM, impulsion	Pas de limite		
380 à 390	TETRA 400	Modulation en impulsion ^b 18 Hz	1,8	0,1	81
430 à 470	GMRS 460, FRS 460	FM ^c écart ± 5 kHz 1 kHz sinusoïdale	2	0,1	84
704 à 787	Bandes LTE 13, 17	Modulation en impulsion ^b 217 Hz	0,2	0,1	27
					27
					27
800 à 960	GSM 800/900, TETRA 800, iDEN 820, CDMA 850, Bande LTE 5	Modulation en impulsion ^b 18 Hz	2	0,1	84
1 447,9 à 1 462,9	Bande LTE 21	Modulation en impulsion ^b 18 Hz	2	0,1	81
1 700 à 1 990	GSM 1800; CDMA 1900; GSM 1900; DECT; Bandes LTE 1, 3, 4, 25; UMTS	Modulation en impulsion ^b 217 Hz	2	0,1	84
					84
					84
2 400 à 2 570	Bluetooth, WLAN, 802.11 b/g/n, RFID 2450, Bande LTE 7	Modulation en impulsion ^b 217 Hz	2	0,1	84
5 100 à 5 800	WLAN 802.11 a/n	Modulation en impulsion ^b 217 Hz	0,2	0,1	27
					27
					27

^a Pour certains services, seules les fréquences de liaison montante sont comprises.

^b La porteuse doit être modulée à l'aide d'un signal carré de 50 % de rapport cyclique.

^c En variante à la modulation FM, une modulation en impulsion à 50 % à 18 Hz peut être utilisée étant donné qu'elle ne représente pas la modulation réelle, elle représente le cas le plus défavorable.

En règle générale, l'intensité de champ à une distance donnée de l'émetteur peut être calculée à l'aide de la formule suivante:

$$E = \frac{6}{d} \sqrt{P}$$

où

P est la puissance maximale en W,

d est la distance de séparation en m, et

E est l'intensité du champ calculée en V/m à la distance d .

Les hypothèses inhérentes à cette formule ne sont pas valides pour toutes les conditions, y compris en champ proche ou pour les antennes à gain élevé. De plus amples informations concernant la détermination des intensités de champ en champ proche et en champ lointain sont données dans l'IEC 61000-2-5:2011, Annexe B.

Annexe C (informative)

Essais in situ

C.1 Généralités

Les essais in situ s'appliquent aux équipements et systèmes de grandes dimensions installés à poste fixe et dont la construction ne permet pas de simuler le fonctionnement des sous-systèmes.

C.2 Procédure d'essai

Les essais in situ doivent être effectués dans les conditions finales d'installation de l'EST.

Il doit être noté que les exigences réglementaires locales en matière de génération de champs sont respectées et que les autres équipements situés au même emplacement ne doivent pas être affectés de manière inacceptable.

C.3 Rapport d'essai

Tous les paramètres d'essai doivent être indiqués dans le rapport d'essai.

Bibliographie

IEC 61000-4-3:2006, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-3: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques*

IEC 61000-4-3:2006/AMD1:2008

IEC 61000-4-3/AMD2:2010

IEC 61000-4-20, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-20: Techniques d'essai et de mesure – Essais d'émission et d'immunité dans les guides d'onde TEM*

IEC 61000-4-21, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-21: Techniques d'essai et de mesure – Méthodes d'essai en chambre réverbérante*

IEC 61000-4-22, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-22: Techniques d'essai et de mesure – Mesures de l'immunité et des émissions rayonnées dans des enceintes complètement anéchoïques (FAR)*

IEC TR 61000-2-5:2011, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 2-5: Environnement – Description et classification des environnements électromagnétiques*

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

ISO 11451-3:2007, *Véhicules routiers – Méthodes d'essai d'un véhicule soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite – Partie 3: Simulation des émetteurs embarqués*

ISO 11452-8:2015, *Véhicules routiers – Méthodes d'essai d'un équipement soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite – Partie 8: Méthodes d'immunité aux champs magnétiques*

ISO 11452-9:2012, *Véhicules routiers – Méthodes d'essai d'un équipement soumis à des perturbations électriques par rayonnement d'énergie électromagnétique en bande étroite – Partie 9: Émetteurs portables*

ISO 14708-3:2008, *Implants chirurgicaux – Dispositifs médicaux implantables actifs – Partie 3: Neurostimulateurs en implant*

ICNIRP, *Guide pour l'établissement de limites d'exposition aux champs électriques, magnétiques et électromagnétiques (jusqu'à 300 GHz). Revue Health Physics 74 (4): pp. 494-522, 1998 (Traduction en français INRS)*

MIL-STD-461F, *Department of Defence Interface Standard; Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment (10 Dec 2007)* (disponible en anglais seulement)

MIL-STD-461G:2010, *Department of Defence Interface Standard; Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment* (disponible en anglais seulement)

SAE ARP 958D, *Aerospace Recommended Practice electromagnetic Interference Measurement antennas; Standard Calibration Method* (disponible en anglais seulement)

National Institute of standards and Technology (NIST), Technical Note 1544 (disponible en anglais seulement)

MIL-STD-461G:2015, *Department of Defence Interface Standard; Requirements for the Control of Electromagnetic Interference Characteristics of Subsystems and Equipment*

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