

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

BASIC EMC PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Electromagnetic compatibility (EMC) –
Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency,
electromagnetic field immunity test**

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



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: 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.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

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

A propos des publications CEI

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

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

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

- Electropedia: www.electropedia.org

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

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00



IEC 61000-4-3

Edition 3.1 2008-04

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

BASIC EMC PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Electromagnetic compatibility (EMC) –
Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency,
electromagnetic field immunity test**

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

CL

ICS 33.100.20

ISBN 2-8318-9550-2

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope and object.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	8
4 General	11
5 Test levels.....	11
5.1 Test levels related to general purposes	12
5.2 Test levels related to the protection against RF emissions from digital radio telephones and other RF emitting devices	12
6 Test equipment.....	13
6.1 Description of the test facility	13
6.2 Calibration of field	14
7 Test setup	19
7.1 Arrangement of table-top equipment.....	19
7.2 Arrangement of floor-standing equipment	19
7.3 Arrangement of wiring	20
7.4 Arrangement of human body-mounted equipment.....	20
8 Test procedure	20
8.1 Laboratory reference conditions	20
8.2 Execution of the test.....	21
9 Evaluation of test results	22
10 Test report.....	22
 Annex A (informative) Rationale for the choice of modulation for tests related to the protection against RF emissions from digital radio telephones	31
Annex B (informative) Field generating antennas	36
Annex C (informative) Use of anechoic chambers	37
Annex D (informative) Amplifier non-linearity and example for the calibration procedure according to 6.2	40
Annex E (informative) Guidance for product committees on the selection of test levels	45
Annex F (informative) Selection of test methods	48
Annex G (informative) Description of the environment.....	49
Annex H (normative) Alternative illumination method for frequencies above 1 GHz ("independent windows method")	54
Annex I (informative) Calibration method for E-field probes.....	57
 Figure 1 – Definition of the test level and the waveshapes occurring at the output of the signal generator	24
Figure 2 – Example of suitable test facility	25
Figure 3 – Calibration of field	26
Figure 4 – Calibration of field, dimensions of the uniform field area	27
Figure 5 – Example of test setup for floor-standing equipment	28
Figure 6 – Example of test setup for table-top equipment.....	29
Figure 7 – Measuring setup	30

Figure C.1 – Multiple reflections in an existing small anechoic chamber.....	38
Figure C.2 – Most of the reflected waves are eliminated	39
Figure D.1 – Measuring positions of the uniform field area.....	42
Figure H.1 – Examples of division of the calibration area into 0,5 m × 0,5 m windows	55
Figure H.2 – Example of illumination of successive windows	56
Figure I.1 – Example of linearity for probe	60
Figure I.2 – Setup for measuring net power to a transmitting device	62
Figure I.3 – Test setup for chamber validation test.....	64
Figure I.4 – Detail for measurement position ΔL	64
Figure I.5 – Example of data adjustment	65
Figure I.6 – Example of the test layout for antenna and probe.....	66
Figure I.7 – Test setup for chamber validation test.....	67
Figure I.8 – Example alternative chamber validation data	67
Figure I.9 – Field probe calibration layout	68
Figure I.10 – Field probe calibration layout (Top view)	68
Figure I.11 – Cross-sectional view of a waveguide chamber	70
Table 1 – Test levels related to general purpose, digital radio telephones and other RF emitting devices.....	11
Table 2 – Requirements for uniform field area for application of full illumination, partial illumination and independent windows method.....	15
Table A.1 – Comparison of modulation methods	32
Table A.2 – Relative interference levels	33
Table A.3 – Relative immunity levels.....	34
Table D.1 – Forward power values measured according to the constant field strength calibration method	43
Table D.2 – Forward power values sorted according to rising value and evaluation of the measuring result	43
Table D.3 – Forward power and field strength values measured according to the constant power calibration method.....	44
Table D.4 – Field strength values sorted according to rising value and evaluation of the measuring result	44
Table E.1 – Examples of test levels, associated protection distances and suggested performance criteria.....	47
Table G.1 – Mobile and portable units.....	51
Table G.2 – Base stations.....	52
Table G.3 – Other RF devices.....	53
Table I.1 – Calibration field strength level	58
Table I.2 – Example for the probe linearity check.....	59

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –**Part 4-3: Testing and measurement techniques –
Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC provides no marking procedure to indicate its approval and cannot be rendered responsible for any equipment declared to be in conformity with an IEC Publication.
- 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 61000-4-3 has been prepared by subcommittee 77B: High frequency phenomenon, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

It forms part 4-3 of IEC 61000. It has the status of a basic EMC publication in accordance with IEC Guide 107, *Electromagnetic compatibility – Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications*.

The test frequency range may be extended up to 6 GHz to take account of new services. The calibration of the field as well as the checking of power amplifier linearity of the immunity chain are specified.

This consolidated version of IEC 61000-4-3 consists of the third edition (2006) [documents 77B/485/FDIS and 77B/500/RVD] and its amendment 1 (2007) [documents 77B/546/FDIS and 77B/556/RVD].

The technical content is therefore identical to the base edition and its amendment and has been prepared for user convenience.

It bears the edition number 3.1.

A vertical line in the margin shows where the base publication has been modified by amendment 1.

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

The committee has decided that the contents of the base publication and its amendments will remain unchanged until the maintenance result 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.

INTRODUCTION

This standard is part of the IEC 61000 series, according to the following structure:

Part 1: General

General considerations (introduction, fundamental principles)

Definitions, terminology

Part 2: Environment

Description of the environment

Classification of the environment

Compatibility levels

Part 3: Limits

Emission limits

Immunity limits (in so far as they do not fall under the responsibility of 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: 61000-6-1).

This part is an International Standard which gives immunity requirements and test procedures related to radiated, radio-frequency, electromagnetic fields.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated, radio-frequency, electromagnetic field immunity test

1 Scope and object

This part of IEC 61000 is applicable to the immunity requirements of electrical and electronic equipment to radiated electromagnetic energy. It establishes test levels and the required test procedures.

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

NOTE 1 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 part deals with immunity tests related to the protection against RF electromagnetic fields from any source.

Particular considerations are devoted to the protection against radio-frequency emissions from digital radiotelephones and other RF emitting devices.

NOTE 2 Test methods are defined in this part for evaluating the effect that electromagnetic radiation has on the equipment concerned. The simulation and measurement of electromagnetic radiation is not adequately exact for quantitative determination of effects. The test methods defined are structured for the primary objective of establishing adequate repeatability of results at various test facilities for qualitative analysis of effects.

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

2 Normative references

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

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

IEC 61000-4-6, *Electromagnetic compatibility (EMC) – Part 4-6: Testing and measurement techniques – Immunity to conducted disturbances, induced by radio-frequency fields*

3 Terms and definitions

For the purposes of this part of IEC 61000, the following definitions, together with those in IEC 60050(161) apply.

3.1

amplitude modulation

process by which the amplitude of a carrier wave is varied following a specified law

3.2

anechoic chamber

shielded enclosure which is lined with radio-frequency absorbers to reduce reflections from the internal surfaces

3.2.1

fully anechoic chamber

shielded enclosure whose internal surfaces are totally lined with anechoic material

3.2.2

semi-anechoic chamber

shielded enclosure where all internal surfaces are covered with anechoic material with the exception of the floor, which shall be reflective (ground plane)

3.2.3

modified semi-anechoic chamber

semi-anechoic chamber which has additional absorbers installed on the ground plane

3.3

antenna

transducer which either emits radio-frequency power into space from a signal source or intercepts an arriving electromagnetic field, converting it into an electrical signal

3.4

balun

device for transforming an unbalanced voltage to a balanced voltage or vice versa

[IEV 161-04-34]

3.5

continuous waves (CW)

electromagnetic waves, the successive oscillations of which are identical under steady-state conditions, which can be interrupted or modulated to convey information

3.6

electromagnetic (EM) wave

radiant energy produced by the oscillation of an electric charge characterized by oscillation of the electric and magnetic fields

3.7

far field

region where the power flux density from an antenna approximately obeys an inverse square law of the distance.

For a dipole this corresponds to distances greater than $\lambda/2\pi$, where λ is the wavelength of the radiation

3.8**field strength**

The term "field strength" is applied only to measurements made in the far field. The measurement may be of either the electric or the magnetic component of the field and may be expressed as V/m, A/m or W/m²; any one of these may be converted into the others.

NOTE 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.

3.9**frequency band**

continuous range of frequencies extending between two limits

3.10 **E_c**

field strength applied for calibration

3.11 **E_t**

carrier field strength applied for testing

3.12**full illumination**

test method in which the EUT face being tested fits completely within the UFA (Uniform Field Area).

This test method may be applied for all test frequencies

3.13**human body-mounted equipment**

equipment which is intended for use when attached to or held in close proximity to the human body.

This term includes hand-held devices which are carried by people while in operation (e.g. pocket devices) as well as electronic aid devices and implants

3.14**independent windows method**

test method (using 0,5 m × 0,5 m UFA) in which the EUT face being tested does not fit completely within the UFA.

This test method may be applied for test frequencies greater than 1 GHz

3.15**induction field**

predominant electric and/or magnetic field existing at a distance $d < \lambda/2\pi$, where λ is the wavelength, and the physical dimensions of the source are much smaller than distance d

3.16**intentional RF emitting device**

device which radiates (transmits) an electromagnetic field intentionally. Examples include digital mobile telephones and other radio devices

3.17

isotropic

having properties of equal values in all directions

3.18

maximum RMS value

highest short-term RMS value of a modulated RF signal during an observation time of one modulation period.

The short-term RMS is evaluated over a single carrier cycle. For example, in Figure 1b), the maximum RMS voltage is:

$$V_{\text{maximum RMS}} = V_{\text{p-p}} / (2 \times \sqrt{2}) = 1,8 \text{ V}$$

3.19

non-constant envelope modulation

RF modulation schemes in which the amplitude of the carrier wave varies slowly in time compared with the period of the carrier itself. Examples include conventional amplitude modulation and TDMA

3.20

P_c

forward power needed to establish the calibration field strength

3.21

partial illumination

test method (using a minimum sized UFA of 1,5 × 1,5 m) in which the EUT face being tested does not fit completely within the UFA.

This test method may be applied for all test frequencies.

3.22

polarization

orientation of the electric field vector of a radiated field

3.23

shielded enclosure

screened or solid metal housing designed expressly for the purpose of isolating the internal from the external electromagnetic environment. The purpose is to prevent outside ambient electromagnetic fields from causing performance degradation and to prevent emission from causing interference to outside activities

3.24

sweep

continuous or incremental traverse over a range of frequencies

3.25

TDMA (time division multiple access)

time multiplexing modulation scheme which places several communication channels on the same carrier wave at an allocated frequency. Each channel is assigned a time slot during which, if the channel is active, the information is transmitted as a pulse of RF power. If the channel is not active no pulse is transmitted, thus the carrier envelope is not constant. During the pulse, the amplitude is constant and the RF carrier is frequency- or phase-modulated

3.26**transceiver**

combination of radio transmitting and receiving equipment in a common housing

3.27**uniform field area (UFA)**

hypothetical vertical plane of the field calibration in which variations are acceptably small.

The purpose of field calibration is to ensure the validity of the test result. See 6.2

4 General

Most electronic equipment is, in some manner, affected by electromagnetic radiation. This radiation is frequently generated by such general purpose sources as the small hand-held radio transceivers that are used by operating, maintenance and security personnel, fixed-station radio and television transmitters, vehicle radio transmitters, and various industrial electromagnetic sources.

In recent years there has been a significant increase in the use of radio telephones and other RF emitting devices operating at frequencies between 0,8 GHz and 6 GHz. Many of these services use modulation techniques with a non-constant envelope (e.g. TDMA). See 5.2.

In addition to electromagnetic energy deliberately generated, there is also radiation caused by devices such as welders, thyristors, fluorescent lights, switches operating inductive loads, etc. For the most part, this interference manifests itself as conducted electrical interference and, as such, is dealt with in other parts of the IEC 61000-4 standard series. Methods employed to prevent effects from electromagnetic fields will normally also reduce the effects from these sources.

The electromagnetic environment is determined by the strength of the electromagnetic field. The field strength is not easily measured without sophisticated instrumentation nor is it easily calculated by classical equations and formulas because of the effect of surrounding structures or the proximity of other equipment that will distort and/or reflect the electromagnetic waves.

5 Test levels

The test levels are given in Table 1.

Table 1 – Test levels related to general purpose, digital radio telephones and other RF emitting devices

Level	Test field strength V/m
1	1
2	3
3	10
4	30
x	Special
NOTE x is an open test level and the associated field strength may be any value. This level may be given in the product standard.	

This standard 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 needing to be tested as well as the frequency ranges. See Annex E for a guidance for product committees on the selection of test levels.

The test field strength column gives values of the unmodulated carrier signal. For testing of equipment, this carrier signal is 80 % amplitude modulated with a 1 kHz sine wave to simulate actual threats (see Figure 1). Details of how the test is performed are given in Clause 8.

5.1 Test levels related to general purposes

The tests are normally performed without gaps in the frequency range 80 MHz to 1 000 MHz.

NOTE 1 Product committees may decide to choose a lower or higher transition frequency than 80 MHz between IEC 61000-4-3 and IEC 61000-4-6 (see Annex G).

NOTE 2 Product committees may select alternative modulation schemes for equipment under test.

NOTE 3 IEC 61000-4-6 also defines test methods for establishing the immunity of electrical and electronic equipment against radiated electromagnetic energy. It covers frequencies below 80 MHz.

5.2 Test levels related to the protection against RF emissions from digital radio telephones and other RF emitting devices

The tests are normally performed in the frequency ranges 800 MHz to 960 MHz and 1,4 GHz to 6,0 GHz.

The frequencies or frequency bands to be selected for the test are limited to those where mobile radio telephones and other intentional RF emitting devices actually operate. It is not intended that the test needs to be applied continuously over the entire frequency range from 1,4 GHz to 6 GHz. For those frequency bands used by mobile radio telephones and other intentional RF emitting devices, specific test levels may be applied in the corresponding frequency range of operation.

Also if the product is intended to conform only to the requirements of particular countries, the measurement range 1,4 GHz to 6 GHz may be reduced to cover just the specific frequency bands allocated to digital mobile telephones and other intentional RF emitting devices in those countries. In this situation, the decision to test over reduced frequency ranges shall be documented in the test report.

NOTE 1 Annex A contains an explanation regarding the decision to use sine wave modulation for tests related to protection against RF emissions from digital radio telephones and other intentional RF emitting devices.

NOTE 2 Annex E contains guidance with regard to selecting test levels.

NOTE 3 The measurement ranges for Table 2 are the frequency bands generally allocated to digital radio telephones (Annex G contains the list of frequencies known to be allocated to specific digital radio telephones at the time of publication).

NOTE 4 The primary threat above 800 MHz is from radio telephone systems and other intentional RF emitting devices with power levels similar to that of radio telephones. Other systems operating in this frequency range, e.g. radio LANs operating at 2,4 GHz or higher frequencies, are generally very low power (typically lower than 100 mW), so they are much less likely to present significant problems.

6 Test equipment

The following types of test equipment are recommended:

- *Anechoic chamber*: of a size adequate to maintain a uniform field of sufficient dimensions with respect to the equipment under test (EUT). Additional absorbers may be used to damp reflections in chambers which are not fully lined.
- *EMI filters*: care shall be taken to ensure that the filters introduce no additional resonance effects on the connected lines.
- *RF signal generator(s)* capable of covering the frequency band of interest and of being amplitude modulated by a 1 kHz sine wave with a modulation depth of 80%. They shall have manual control (e.g., frequency, amplitude, modulation index) or, in the case of RF synthesizers, they shall be programmable with frequency-dependent step sizes and dwell times.

The use of low-pass or band-pass filters may be necessary to avoid problems caused by harmonics.

- *Power amplifiers*: to amplify signal (unmodulated and modulated) and provide antenna drive to the necessary field level. The harmonics generated by the power amplifier shall be such that any measured field strength in the UFA at each harmonic frequency shall be at least 6 dB below that of the fundamental frequency (see Annex D).
- *Field generating antennas (see Annex B)*: biconical, log periodic, horn or any other linearly polarized antenna system capable of satisfying frequency requirements.
- *An isotropic field sensor* with adequate immunity of any head amplifier and optoelectronics to the field strength to be measured, and a fibre optic link to the indicator outside the chamber. An adequately filtered signal link may also be used. Annex I provides a calibration method for E-field probes.
- *Associated equipment to record the power levels* necessary for the required field strength and to control the generation of that level for testing.

Care shall be taken to ensure adequate immunity of the auxiliary equipment.

6.1 Description of the test facility

Because of the magnitude of the field strengths generated, the tests shall be made in a shielded enclosure in order 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 the interconnection 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. This includes anechoic chambers or modified semi-anechoic chambers, an example of which is shown in Figure 2. Associated shielded enclosures should accommodate the field generating and monitoring equipment, and the equipment which exercises the EUT.

Anechoic chambers are less effective at lower frequencies. Particular care shall be taken to ensure the uniformity of the generated field at the lower frequencies. Further guidance is given in Annex C.

6.2 Calibration of field

The purpose of field calibration is to ensure that the uniformity of the field over the test sample is sufficient to ensure the validity of the test results. IEC 61000-4-3 uses the concept of a uniform field area (UFA, see Figure 3), which is a hypothetical vertical plane of the field in which variations are acceptably small. In a common procedure (field calibration), the capability of the test facility and the test equipment to generate such a field is demonstrated. At the same time, a database for setting the required field strength for the immunity test is obtained. The field calibration is valid for all EUTs whose individual faces (including any cabling) can be fully covered by the UFA.

The field calibration is performed with no EUT in place (see Figure 3). In this procedure, the relationship between field strength within the UFA and forward power applied to the antenna is determined. During the test, the required forward power is calculated from this relationship and the target field strength. The calibration is valid as long as the test setup used for it remains unchanged for testing, therefore the calibration setup (antenna, additional absorber, cables, etc.) shall be recorded. It is important that the exact position, as much as is reasonably possible, of the generating antennas and cables is documented. Since even small displacements may significantly affect the field, the same positions shall be used also for the immunity test.

It is intended that the full field calibration process should be carried out annually and when changes have been made in the enclosure configuration (absorber replaced, area moved, equipment changed, etc.). Before each batch of testing (see Clause 8), the validity of the calibration shall be checked.

The transmitting antenna shall be placed at a distance sufficient to allow the UFA to fall within the beam of the transmitted field. The field sensor shall be at least 1 m from the field generating antenna. A distance of 3 m between the antenna and the UFA is preferred (see Figure 3). This dimension is measured from the centre of a biconical antenna, or the front tip of a log periodic or combination antenna, or from the front edge of horn or double ridge wave guide antenna. The calibration record and the test report shall state the distance used.

Unless the EUT and its wires can be fully illuminated within a smaller surface, the size of the UFA is at least 1,5 m × 1,5 m with its lower edge established at a height of 0,8 m above the floor. The size of the UFA shall not be less than 0,5 m × 0,5 m. During the immunity test, the EUT shall have the face to be illuminated coincident with this UFA (see Figures 5 and 6).

In order to establish the severity of the test for EUTs and cabling which must be tested close to the floor (earth reference plane), the magnitude of the field is also recorded at 0,4 m height. The obtained data is documented in the calibration record but is not considered for the suitability of the test facility and for the calibration database.

Due to reflections at the floor in a semi-anechoic room, it is difficult to establish a UFA close to an earth reference plane. Additional absorbing material on the earth reference plane may solve this problem (see Figure 2).

The UFA is subdivided into a grid with a grid spacing of 0,5 m (see Figure 4 as an example of an 1,5 m × 1,5 m UFA). At each frequency, a field is considered uniform if its magnitude measured at the grid points is within $\begin{smallmatrix} -0 \\ +6 \end{smallmatrix}$ dB of the nominal value for not less than 75 % of all

grid points (e.g. if at least 12 of the 16 points of an 1,5 m × 1,5 m UFA measured are within the tolerance). For the minimum UFA of 0,5 m × 0,5 m, the field magnitude for all four grid points shall lie within this tolerance.

NOTE 1 At different frequencies, different measuring points may be within the tolerance.

The tolerance has been expressed as ${}_{+6}^{-0}$ dB to ensure that the field strength does not fall below nominal with an acceptable probability. The tolerance of 6 dB is considered to be the minimum achievable in practical test facilities.

In the frequency range up to 1 GHz, a tolerance greater than +6 dB, up to +10 dB, but not less than -0 dB is allowed for a maximum of 3 % of the test frequencies, provided that the actual tolerance is stated in the test report. In case of dispute, the ${}_{+6}^{-0}$ dB tolerance takes precedence.

If the area intended to be occupied by the face of the actual EUT is larger than 1,5 m × 1,5 m and an UFA with sufficient dimensions (preferred method) can not be realised, then the area to be occupied by the EUT may be illuminated in a series of tests ("partial illumination"). Either:

- a calibration shall be performed at different radiating antenna locations so that the combined UFAs cover the area which will be occupied by the face of the EUT, and the EUT shall then be tested with the antenna in each of these positions successively,
- or the EUT shall be moved to different positions so that each part of it falls within the UFA during at least one of these tests.

NOTE 2 Each of the antenna positions requires a full field calibration.

Table 2 below demonstrates the concepts of full illumination and partial illumination as well as where and how they can be applied.

Table 2 – Requirements for uniform field area for application of full illumination, partial illumination and independent windows method

Frequency range	Requirements of UFA size and calibration when the EUT fits completely within UFA (Full Illumination, the preferred method)	Requirements of UFA size and calibration when the EUT does not fit completely within UFA (Partial Illumination and Independent Windows, the alternative methods)
Less than 1 GHz	Minimum UFA size 0,5 m × 0,5 m UFA size in 0,5 m grid size steps (e.g., 0,5 m × 0,5 m; 0,5 m × 1,0 m; 1,0 m × 1,0 m; etc) Calibration in 0,5 m × 0,5 m grid steps 75 % of calibration points within specifications if UFA is larger than 0,5 m × 0,5 m. 100 % (all 4 points) must be in specifications for 0,5 m × 0,5 m UFA.	PARTIAL ILLUMINATION Minimum UFA size 1,5 m × 1,5 m UFA size in 0,5 m grid size steps (e.g., 1,5 m × 1,5 m; 1,5 m × 2,0 m; 2,0 m × 2,0 m; etc) Calibration in 0,5 m × 0,5 m grid steps 75 % of calibration points within specifications

Table 2 (continued)

Frequency range	Requirements of UFA size and calibration when the EUT fits completely within UFA (Full Illumination, the preferred method)	Requirements of UFA size and calibration when the EUT does not fit completely within UFA (Partial Illumination and Independent Windows, the alternative methods)
Greater than 1 GHz	Minimum UFA size 0,5 m × 0,5 m UFA size in 0,5 m grid size steps (e.g., 0,5 m × 0,5 m; 0,5 m × 1,0 m; 1,0 m × 1,0 m; etc) Calibration in 0,5 m × 0,5 m grid steps 75 % of calibration points within specifications if UFA is larger than 0,5 m × 0,5 m. 100 % (all 4 points) must be in specifications for 0,5 m × 0,5 m UFA.	INDEPENDENT WINDOWS METHOD 0,5 m × 0,5 m window (See Annex H) PARTIAL ILLUMINATION 1,5 m × 1,5 m and larger size windows in 0,5 m increments (e.g., 1,5 m × 2,0 m; 2,0 m × 2,0 m; etc) Calibration in 0,5 m × 0,5 m grid steps 75 % of calibration points within specifications if UFA is larger than 0,5 m × 0,5 m. 100 % (all 4 points) must be in specifications for 0,5 m × 0,5 m UFA.

If the requirements of this subclause can only be satisfied up to a certain limiting frequency (higher than 1 GHz), for example because the beam width of the antenna is insufficient to illuminate the entire EUT, then for frequencies higher than this, a second alternative method (known as “the independent window method”), described in Annex H, may be used.

Generally the calibration of the field in anechoic and semi-anechoic chambers has to be performed using the test setup shown in Figure 7. The calibration shall always be performed with an unmodulated carrier for both horizontal and vertical polarisations in accordance with the steps given below. It is required to ensure that the amplifiers can handle the modulation and are not saturated during testing. The preferred method to ensure the amplifiers are not saturated during testing is to carry out the calibration with a field strength at least 1,8 times as high as the field strength to be applied to the EUT. Denote this calibration field strength by E_c . E_c is the value which is applicable only to field calibration. The test field strength E_t shall not exceed $E_c / 1,8$.

NOTE 3 Other methods to ensure avoiding saturation may be used.

Two different calibration methods are described below using an 1,5 m × 1,5 m UFA (16 grid points) as an example. These methods are considered to give the same field uniformity.

6.2.1 Constant field strength calibration method

The constant field strength of the uniform field shall be established and measured via a calibrated field sensor at each particular frequency and at each of the 16 points one after the other (see Figure 4) using the step size given in Clause 8, by adjusting the forward power accordingly.

The forward power necessary to establish the field strength chosen shall be measured in accordance with Figure 7 and is to be recorded in dBm for the 16 points.

Procedure to be followed at both horizontal and vertical polarisations:

- a) Position the sensor at one of the 16 points in the grid (see Figure 4), and set the frequency of the signal generator output to the lowest frequency in the range of the test (for example 80 MHz).
- b) Adjust the forward power to the field-generating antenna so that the field strength obtained is equal to the required calibration field strength E_c . Record the forward power reading.
- c) Increase the frequency by a maximum of 1 % of the present frequency.
- d) Repeat steps b) and c) until the next frequency in the sequence would exceed the highest frequency in the range of the test. Finally, repeat step b) at this highest frequency (for example 1 GHz).
- e) Repeat steps a) to d) for each point in the grid.

At each frequency:

- f) Sort the 16 forward power readings into ascending order.
- g) Start at the highest value and check if at least the 11 readings below this value are within the tolerance of -6 dB to $+0$ dB of that value.
- h) If they are not within this tolerance of -6 dB to $+0$ dB, go back to the same procedure, starting by the reading immediately below and so on (notice that there are only five possibilities for each frequency).
- i) Stop the procedure if at least 12 numbers are within 6 dB and record the maximum forward power out of the numbers. Denote this forward power by P_c .
- j) Confirm that the test system (e.g. the power amplifier) is not in saturation. Assuming that E_c has been chosen as 1,8 times E_t , perform the following procedure at each calibration frequency:
 - j-1) Decrease the output from the signal generator by 5,1 dB from the level needed to establish a forward power of P_c , as determined in the above steps. ($-5,1$ dB is the same as $E_c / 1,8$);
 - j-2) Record the new forward power delivered to the antenna;
 - j-3) Subtract the forward power measured in step j-2 from P_c . If the difference is between 3,1 and 5,1 dB, then the amplifier is not saturated and the test system sufficient for testing. If the difference is less than 3,1 dB, then the amplifier is saturated and is not suitable for testing.

NOTE 1 If at a specific frequency, the ratio between E_c and E_t is R (dB), where $R = 20 \log(E_c/E_t)$, then the test power $P_t = P_c - R$ (dB). The subscripts c and t refer to calibration and test respectively. The field is modulated in accordance with Clause 8.

A description of an example for the calibration is given in D.4.1.

NOTE 2 At each frequency it has to be ensured that the amplifier used is not saturated. This can best be done by checking the 1 dB compression of the amplifier. However, the 1 dB compression of the amplifier is verified with a 50Ω termination when the impedance of an antenna to be used for the test is different from 50Ω . The saturation of the test system is assured by confirming the 2 dB compression point described to step j). For more information refer to the Annex D.

6.2.2 Constant power calibration method

The field strength of the uniform field shall be established and measured via a calibrated field sensor at each particular frequency and at each of the 16 points one after the other (see Figure 4) using the step size given in Clause 8, by adjusting the forward power accordingly.

The forward power necessary to establish the field strength at the starting position shall be measured in accordance with Figure 7 and noted. The same forward power shall be applied for all 16 positions. The field strength created by this forward power is to be recorded at each of the 16 points.

Procedure to be followed at both horizontal and vertical polarisations:

- a) Position the sensor at one of the 16 points in the grid (see Figure 4), and set the frequency of the signal generator output to the lowest frequency in the range of the test (for example 80 MHz).
- b) Apply a forward power to the field-generating antenna so that the field strength obtained equals E_c (taking into account that the test field will be modulated). Record the forward power and field strength readings.
- c) Increase the frequency by a maximum of 1% of the present frequency.
- d) Repeat steps b) and c) until the next frequency in the sequence would exceed the highest frequency in the range of the test. Finally, repeat step b) at this highest frequency (for example 1 GHz).
- e) Move the sensor to another position in the grid. At each of the frequencies and used in steps a) to d), apply the forward power recorded in step b) for that frequency, and record the field strength reading.
- f) Repeat step e) for each point in the grid.

At each frequency :

- g) Sort the 16 field strength readings into ascending order.
- h) Select one field strength as the reference and calculate the deviation from this reference for all other positions in decibels.
- i) Start at the lowest value of the field strength and check if at least 11 readings above this value are within the tolerance of $\begin{smallmatrix} -0 \\ +6 \end{smallmatrix}$ dB of that lowest value.
- j) If they are not within the tolerance of $\begin{smallmatrix} -0 \\ +6 \end{smallmatrix}$ dB, go back to the same procedure, starting by the reading immediately above and so on (notice that there are only five possibilities for each frequency).
- k) Stop the procedure if at least 12 numbers are within 6 dB and take from these numbers the position where the minimum field strength was obtained as the reference.
- l) Calculate the forward power necessary to create the required field strength in the reference position. Denote this forward power by P_c .
- m) Confirm that the test system (e. g. the power amplifier) is not in saturation. Assuming that E_c has been chosen as 1,8 times E_t , perform the following procedure at each calibration frequency:
 - m-1) Decrease the output from the signal generator by 5,1 dB from the level needed to establish a forward power of P_c , as determined in the above steps. (-5,1 dB is the same as $E_c / 1,8$.)
 - m-2) Record the new forward power delivered to the antenna.
 - m-3) Subtract the forward power measured in step m-2 from P_c . If the difference is between 3,1 dB and 5,1 dB, then the amplifier is not saturated and the test system is sufficient for testing. If the difference is less than 3,1 dB, then the amplifier is saturated and is not suitable for testing.

NOTE 1 If at a specific frequency, the ratio between E_c and E_t is $R(\text{dB})$, where $R = 20 \log(E_c/E_t)$, then the test power $P_t = P_c - R(\text{dB})$. The subscripts c and t refer to calibration and test respectively. The field is modulated in accordance with Clause 8.

A description of an example for the calibration is given in D.4.2.

NOTE 2 At each frequency it has to be ensured that the amplifier used is not saturated. This can best be done by checking the 1 dB compression of the amplifier. However, the 1 dB compression of the amplifier is verified with a 50 Ω termination when the impedance of an antenna to be used for the test is different from 50 Ω . The saturation of the test system is assured by confirming the 2 dB compression point described to step m). For more information refer to the Annex D.

7 Test setup

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.

If the equipment is designed to be mounted in a panel, rack or cabinet, it shall be tested in this configuration.

A metallic ground plane is not required. When a means is required to support the test sample, it shall be constructed of a non-metallic, non-conductive material. Low dielectric constant (low permittivity) materials, such as rigid polystyrene, should be considered. However, grounding of housing or case of the equipment shall be consistent with the manufacturer's installation recommendations.

When an EUT consists of floor-standing and table-top components, the correct relative positions shall be maintained.

Typical EUT setups are shown in Figures 5 and 6.

NOTE 1 Non-conductive supports are used to prevent accidental earthing of the EUT and distortion of the field. To ensure the latter, the support should be bulk non-conductive, rather than an insulating coating on a metallic structure.

NOTE 2 At higher frequencies (e.g., above 1 GHz), tables or supports made from wood or glass reinforced plastic can be reflective. So, a low dielectric constant (low permittivity) material, such as rigid polystyrene, should be used to avoid field perturbations and to reduce degradation of field uniformity.

7.1 Arrangement of table-top equipment

The equipment to be tested is placed in the test facility on a non-conductive table 0,8 m high.

The equipment is then connected to power and signal wires according to relevant installation instructions.

7.2 Arrangement of floor-standing equipment

Floor-standing equipment should be mounted on a non-conductive support 0,05 m to 0,15 m above the supporting plane. The use of non-conductive supports prevents accidental earthing of the EUT and distortion of the field. To ensure the latter, the support shall be bulk non-conducting, rather than an insulating coating on a metallic structure. Floor-standing equipment which is capable of being stood on a non-conductive 0,8 m high platform, i.e. equipment which is not too large or heavy, or where its elevation would not create a safety hazard, may be so arranged. This variation in the standard method of test shall be recorded in the test report.

NOTE Non-conductive rollers may be used as the 0,05 m to 0,15 m support.

The equipment is then connected to power and signal wires according to relevant installation instructions.

7.3 Arrangement of wiring

Cables shall be attached to the EUT and arranged on the test site according to the manufacturer's installation instructions and shall replicate typical installations and use as much as possible.

The manufacturer's specified wiring types and connectors shall be used. If the wiring to and from the EUT is not specified, unshielded parallel conductors shall be used.

If the manufacturer's specification requires a wiring length of less than or equal to 3 m, then the specified length shall be used. If the length specified is greater than 3 m or is not specified, then the length of cable used shall be chosen according to typical installation practices. If possible, a minimum of 1 m of cable is exposed to the electromagnetic field. Excess length of cables interconnecting units of the EUT shall be bundled low-inductively in the approximate center of the cable to form a bundle 30 cm to 40 cm in length.

If a product committee determines excess cable length needs to be decoupled (for example, for cables leaving the test area), then the decoupling method used shall not impair the operation of the EUT.

7.4 Arrangement of human body-mounted equipment

Human body-mounted equipment (see Definition 3.13) may be tested in the same manner as table top items. However, this may involve over-testing or under-testing because the characteristics of the human body are not taken into account. For this reason, product committees are encouraged to specify the use of a human body simulator with appropriate dielectric characteristics.

8 Test procedure

The test procedure includes:

- the verification of the laboratory reference conditions;
- the preliminary verification of the correct operation of the equipment;
- the execution of the test;
- the evaluation of the test results.

8.1 Laboratory reference conditions

In order to minimize the effect of environmental parameters on test results, the test shall be carried out in climatic and electromagnetic reference conditions as specified in 8.1.1 and 8.1.2.

8.1.1 Climatic conditions

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

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

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

8.1.2 Electromagnetic conditions

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

8.2 Execution of the test

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

The EUT shall be tested in normal operating conditions.

The test plan shall specify:

- the size of the EUT;
- representative operating conditions of the EUT;
- whether the EUT shall be tested as table-top or floor-standing, or a combination of the two;
- for floor-standing equipment, the height of the support;
- the type of test facility to be used and the position of the radiating antennas;
- the type of antennas to be used;
- the frequency range, dwell time and frequency steps;
- the size and shape of the uniform field area;
- whether any partial illumination is used;
- the test level to be applied;
- the type(s) and number of interconnecting wires used and the interface port (of the EUT) to which these are to be connected;
- the performance criteria which are acceptable;
- a description of the method used to exercise the EUT.

The test procedures described in this clause are for the use of field generating antennas as defined in Clause 6.

Before testing the intensity of the calibrated field strength should be checked to verify that the test equipment/system is operating properly.

After the calibration has been verified, the test field can be generated using the values obtained from the calibration (see 6.2).

The EUT is initially placed with one face coincident with the calibration plane. The EUT face being illuminated shall be contained within the UFA unless partial illumination is being applied. See Clause 6.2 regarding field calibration and use of partial illumination.

The frequency ranges to be considered are swept with the signal modulated according to 5.1 and 5.2, pausing to adjust the RF signal level or to switch oscillators and antennas as necessary. Where the frequency range is swept incrementally, the step size shall not exceed 1 % of the preceding frequency value.

The dwell time of the amplitude modulated carrier at each frequency shall not be less than the time necessary for the EUT to be exercised and to respond, but shall in no case be less than 0,5 s. The sensitive frequencies (e.g., clock frequencies) shall be analyzed separately according to the requirements in product standards.

The test shall normally be performed with the generating antenna facing each side of the EUT. When equipment can be used in different orientations (i.e. vertical or horizontal) all sides shall be exposed to the field during the test. When technically justified, some EUTs can be tested by exposing fewer faces to the generating antenna. In other cases, as determined for example by the type and size of EUT or the frequencies of test, more than four azimuths may need to be exposed.

NOTE 1 As the electrical size of the EUT increases, the complexity of its antenna pattern also increases. The antenna pattern complexity can affect the number of test orientations necessary to determine minimum immunity.

NOTE 2 If an EUT consists of several components, it is not necessary to modify the position of each component within the EUT while illuminating it from different sides.

The polarization of the field generated by each antenna necessitates testing each selected side twice, once with the antenna positioned vertically and again with the antenna positioned horizontally.

Attempts shall be made to fully exercise the EUT during testing, and to interrogate all the critical exercise modes selected for the immunity test. The use of special exercising programmes is recommended.

9 Evaluation of test results

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

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

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

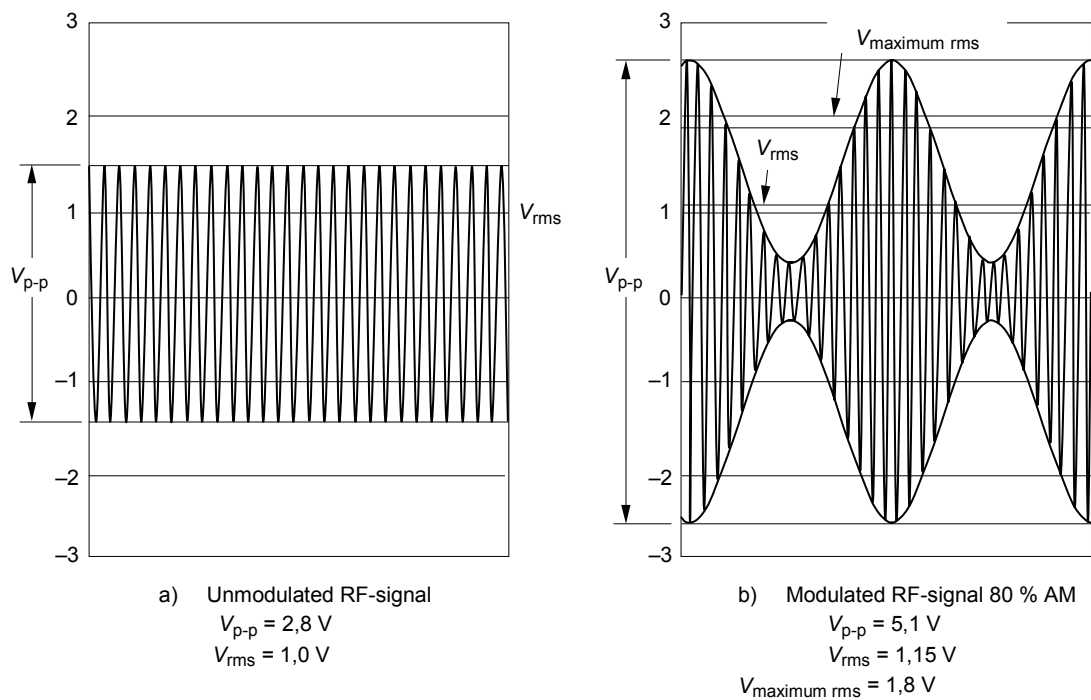
This classification may be used as a guide in formulating performance criteria, by committees responsible for generic, product and product-family standards, or as a framework for the agreement on performance criteria between the manufacturer and the purchaser, for example where no suitable generic, product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

10 Test report

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

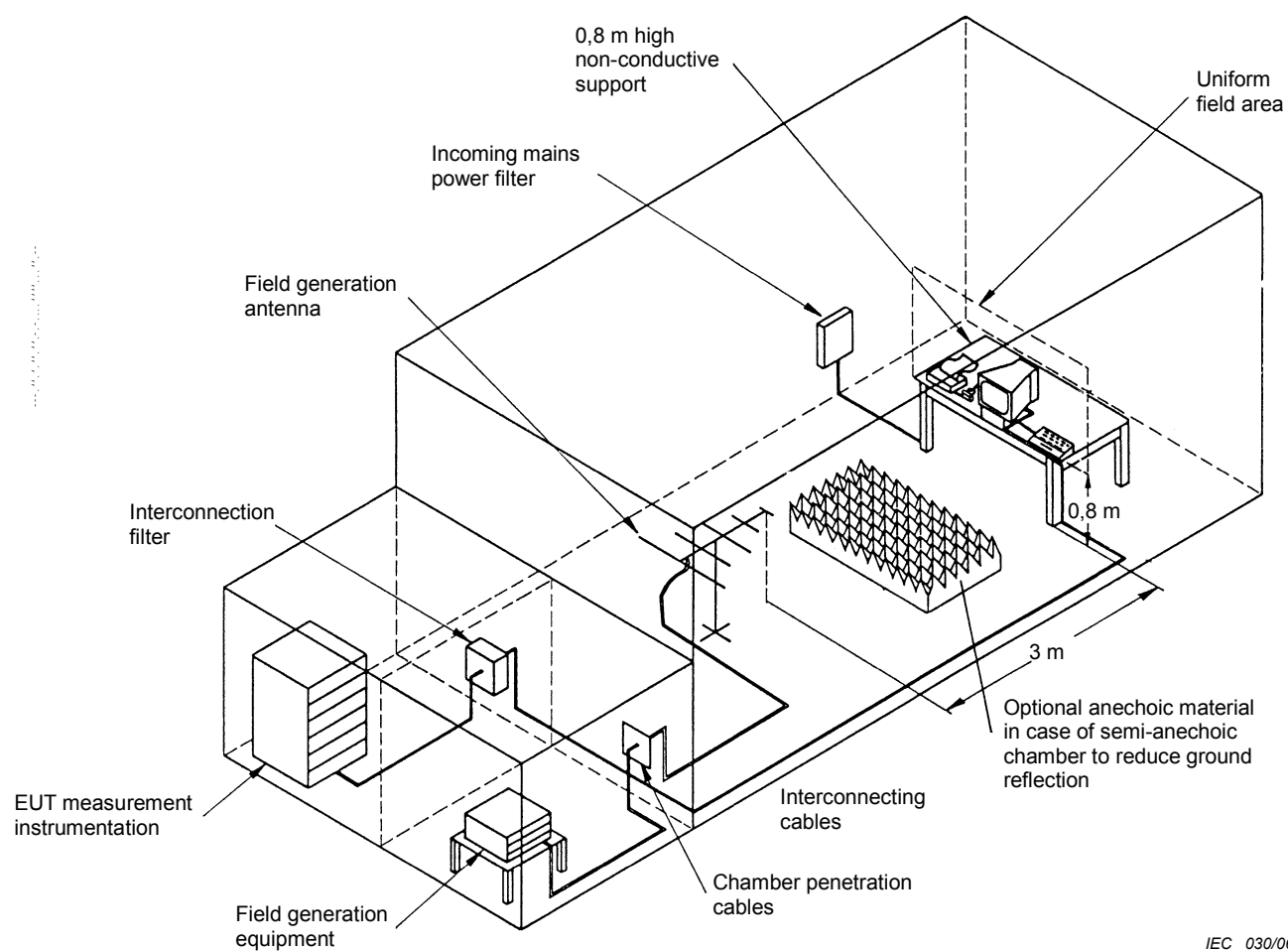
- the items specified in the test plan required by Clause 8 of this standard;
- identification of the EUT and any associated equipment, for example, brand name, product type, serial number;

- identification of the test equipment, for example, brand name, product type, serial number;
- any special environmental conditions in which the test was performed;
- any specific conditions necessary to enable the test to be performed;
- performance level defined by the manufacturer, requestor or purchaser;
- performance criterion specified in the generic, product or product-family standard;
- any effects on the EUT observed during or after the application of the test disturbance, and the duration for which these effects persist;
- the rationale for the pass/fail decision (based on the performance criterion specified in the generic, product or product-family standard, or agreed between the manufacturer and the purchaser);
- any specific conditions of use, for example cable length or type, shielding or grounding, or EUT operating conditions, which are required to achieve compliance;
- 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.



IEC 029/06

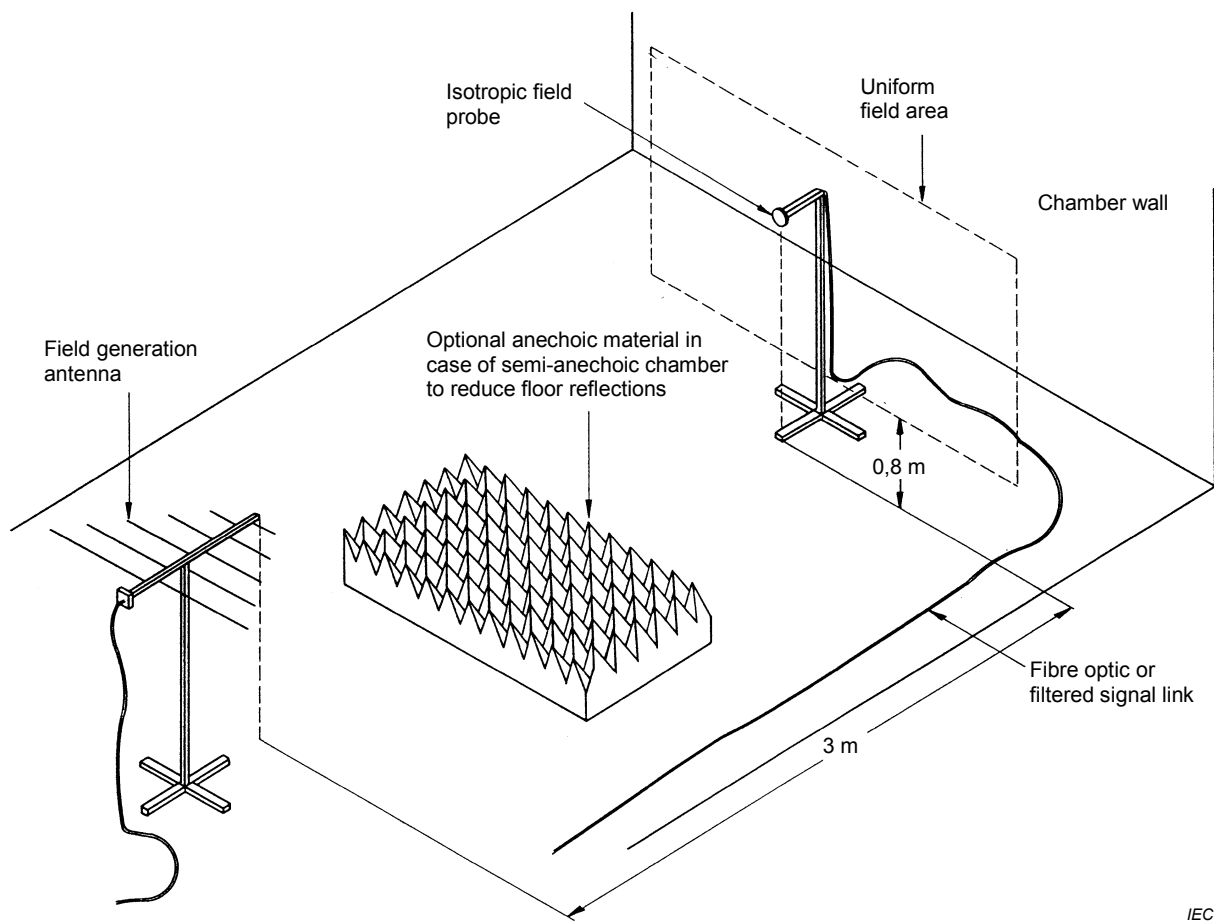
Figure 1 – Definition of the test level and the waveshapes occurring at the output of the signal generator



IEC 030/06

NOTE Anechoic lining material on walls and ceiling has been omitted for clarity.

Figure 2 – Example of suitable test facility



IEC 031/06

Figure 3 – Calibration of field

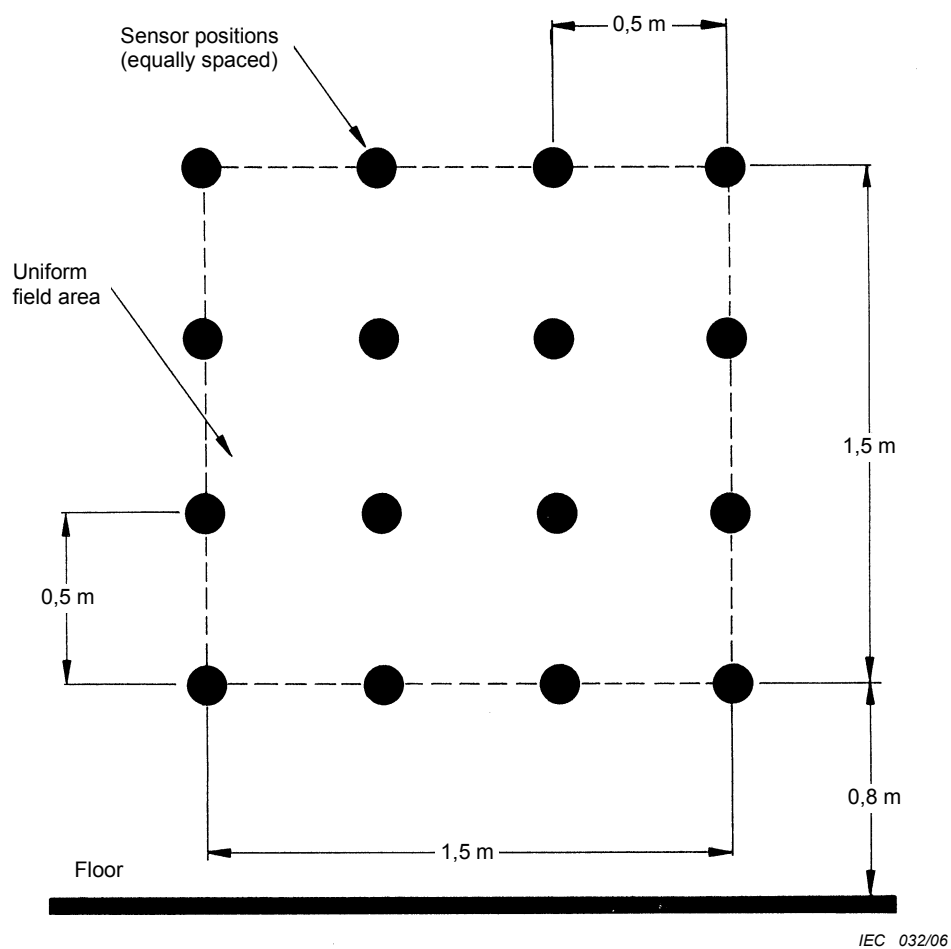
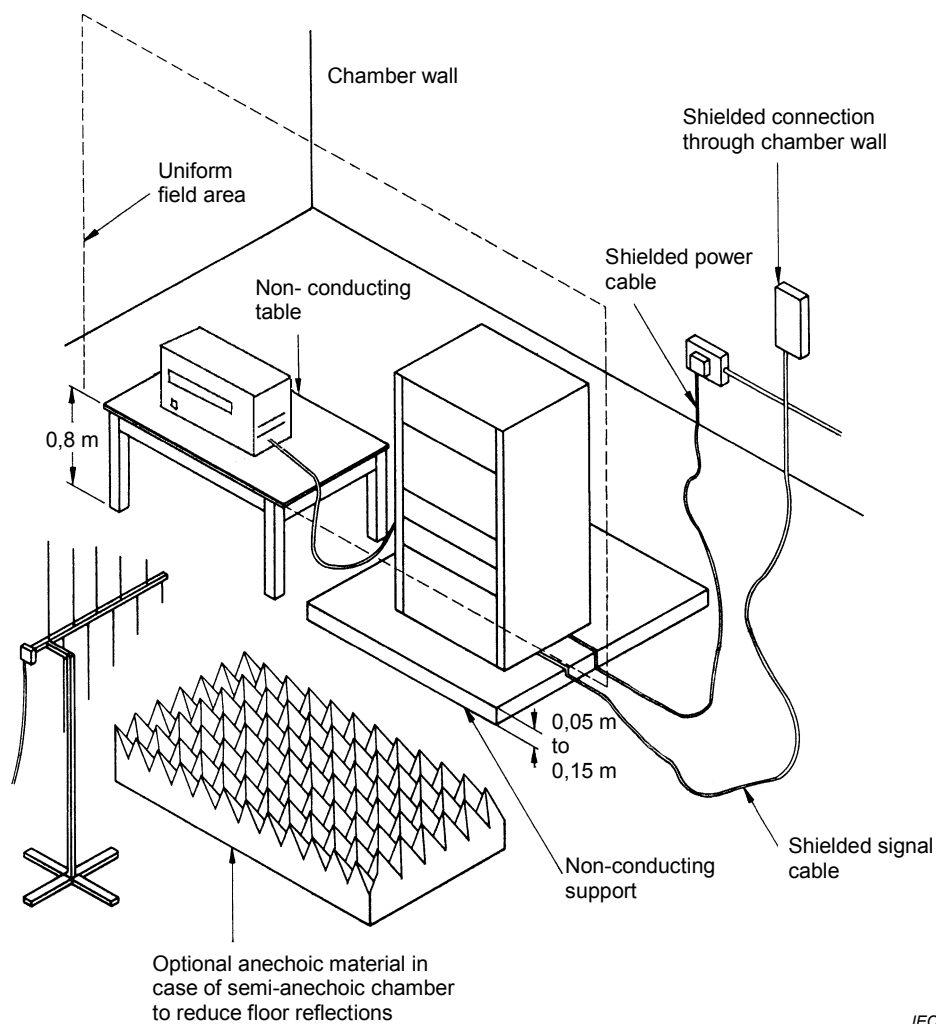


Figure 4 – Calibration of field, dimensions of the uniform field area

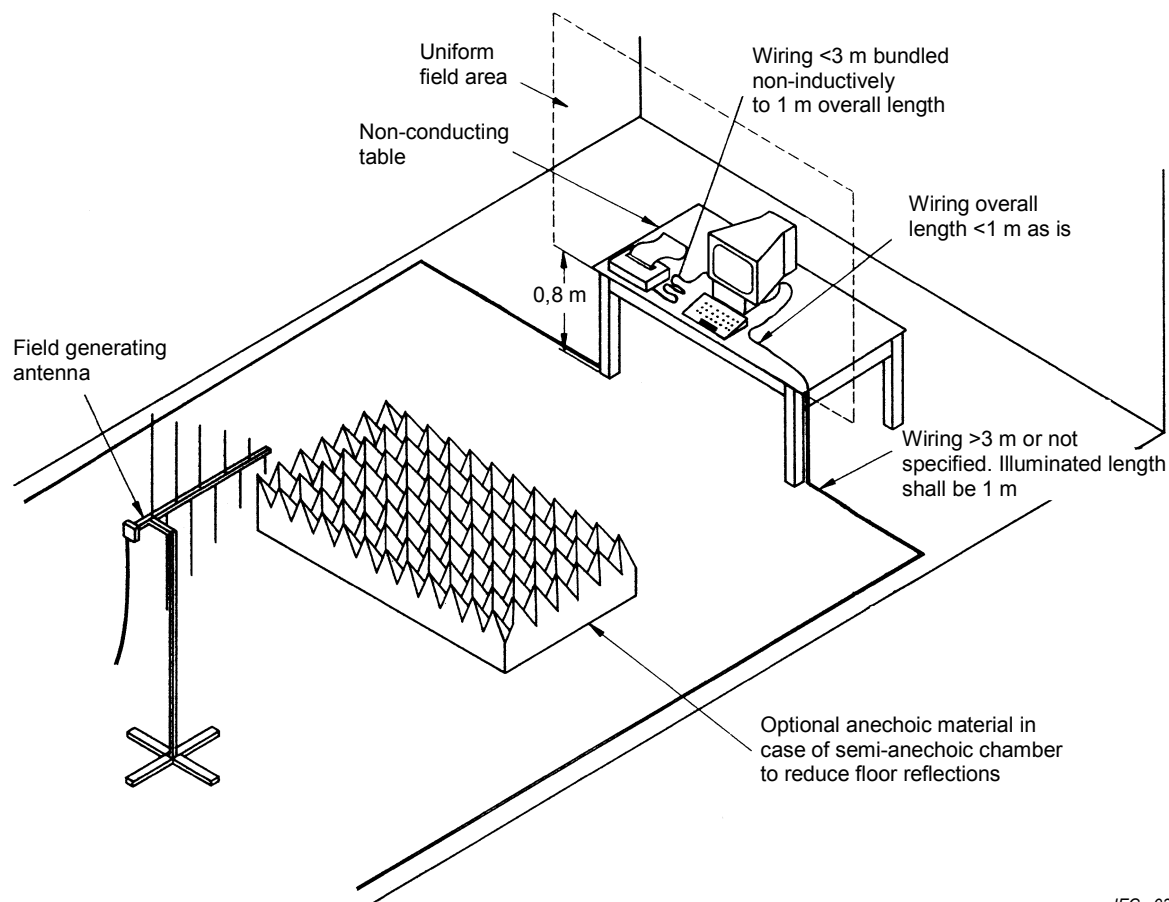
Copyright International Electrotechnical Commission
 Provided by IHS under license with IEC
 No reproduction or networking permitted without license from IHS



IEC 033/06

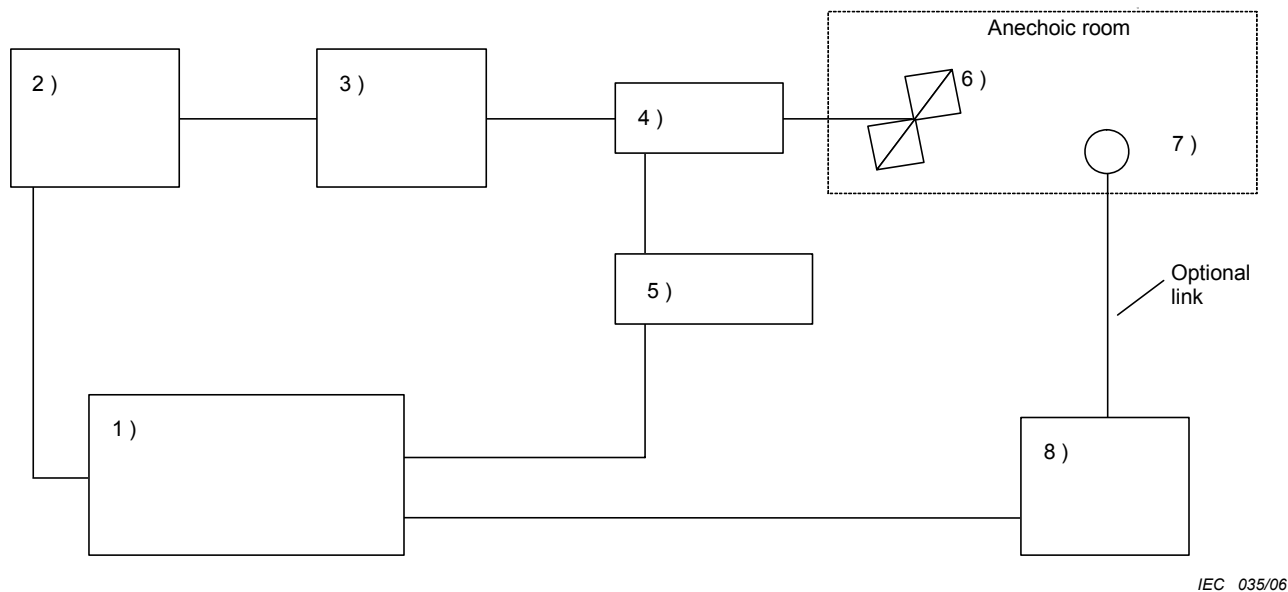
NOTE Anechoic lining material has been omitted from walls for clarity.

Figure 5 – Example of test setup for floor-standing equipment



IEC 034/06

Figure 6 – Example of test setup for table-top equipment



- 1) Controller, for example PC
- 2) Signal generator
- 3) Power amplifier
- 4) Directional coupler ^a
- 5) Measuring instrument ^a
- 6) Transmitting antenna
- 7) Field sensor
- 8) Field meter

^a The directional coupler and power meter may be replaced by a forward power detector or monitor inserted between amplifier 3) and antenna 6).

Figure 7 – Measuring set-up

Annex A

(informative)

Rationale for the choice of modulation for tests related to the protection against RF emissions from digital radio telephones

A.1 Summary of available modulation methods

The essential threat above 800 MHz comes from digital radio telephones using non-constant envelope modulation. During the development of this standard, the following modulation methods were considered for the electromagnetic field:

- sine wave amplitude modulation, 80 % AM at 1 kHz rate;
- square wave amplitude modulation, 1:2 duty cycle, 100 % AM at 200 Hz rate;
- pulsed RF signal approximately simulating the characteristics of each system, e.g. 1:8 duty cycle at 200 Hz for GSM, 1:24 duty cycle at 100 Hz for DECT portables, etc. (see Annex G for definitions of GSM and DECT);
- pulsed RF signal simulating exactly the characteristics of each system, e.g. for GSM: 1:8 duty cycle at 200 Hz plus secondary effects such as discontinuous transmission mode (2 Hz modulation frequency) and multi-frame effects (8 Hz frequency component).

The merits of the respective systems are summarised in Table A.1.

Table A.1 – Comparison of modulation methods

(see Annex G for definitions of GSM and DECT)

Modulation method	Advantages	Disadvantages
Sine wave AM	1 Experimentation has shown that good correlation may be established between the interfering effects of different types of non-constant envelope modulation provided the maximum RMS levels remains the same. 2 It is not necessary to specify (and measure) the rise time of the TDMA pulse. 3 Used in this standard and in IEC 61000-4-6. 4 Field generation and monitoring equipment is readily available. 5 For analogue audio equipment, demodulation in the equipment under test produces an audio response which can be measured with a narrow band level meter, thereby reducing background noise. 6 Has already been shown to be effective at simulating the effects of other modulation types (e.g. FM, phase modulation, pulse modulation) at lower frequencies.	1 Does not simulate TDMA. 2 Slight over-test for second law receptors. 3 May miss some failure mechanisms.
Square wave AM	1 Similar to TDMA. 2 Can be applied universally. 3 May reveal "unknown" failure mechanisms (sensitive to the large rate of change of the RF envelope).	1 Does not exactly simulate TDMA. 2 Requires non-standard equipment to generate the signal. 3 Demodulation in EUT produces a broadband audio response which shall be measured with a broadband level meter, thereby raising background noise. 4 Necessary to specify the rise time.
Pulsed RF	1 Good simulation of TDMA. 2 May reveal "unknown" failure mechanisms (sensitive to the large rate of change of the RF envelope).	1 Requires non-standard equipment to generate the signal. 2 The details of the modulation need to be varied to match each of the different systems (e.g. GSM, DECT, etc.). 3 Demodulation in EUT produces a broadband audio response which shall be measured with a broadband level meter, thereby raising background noise. 4 Necessary to specify the rise time.

A.2 Experimental results

A series of experiments has been performed to assess the correlation between the modulation method used for the disturbing signal and the interference produced.

The modulation methods investigated were as follows:

- a) sine wave 80 % AM at 1 kHz;
- b) "GSM-like" pulsed RF, duty cycle 1:8 at 200 Hz;
- c) "DECT-like" pulsed RF, duty cycle 1:2 at 100 Hz (base station);
- d) "DECT-like" pulsed RF, duty cycle 1:24 at 100 Hz (portable).

Only one of the "DECT-like" modulations was used in each case.

The results are summarised in Tables A.2 and A.3.

Table A.2 – Relative interference levels ^a

Modulation method ^b		Sine wave 80 % AM at 1 kHz	"GSM-like" duty cycle 1:8 at 200 Hz	"DECT-like" duty cycle 1:24 at 100 Hz
↓ Equipment	↓ Audio response	dB	dB	dB
Hearing aid ^c	Unweighted 21 Hz – 21 kHz	0 ^d	0	–3
	A-weighted	0	–4	–7
Analogue telephone set ^e	Unweighted	0 ^d	–3	–7
	A-weighted	–1	–6	–8
Radio set ^f	Unweighted	0 ^d	+1	–2
	A-weighted	–1	–3	–7

^a The audio response to the disturbance is the interference level. A low interference level means a high-immunity level.

^b Important: the carrier amplitude is adjusted so that the maximum RMS value (see Clause 3) of the disturbing signal (exposure) is the same for all modulations.

^c The exposure is produced by an incident electromagnetic field at 900 MHz. The duty cycle for the DECT-like modulation is 1:2 instead of 1:24. The audio response is the acoustical output measured with an artificial ear connected via a 0,5 m PVC tube.

^d This case is chosen as the reference audio response, i.e. 0 dB.

^e The exposure is an RF current injected into the telephone cable at 900 MHz. The audio response is the audio-frequency voltage measured on the telephone line.

^f The exposure is an RF current injected into the mains cable at 900 MHz. The audio response is the audio output from the loudspeaker measured with a microphone.

Table A.3 – Relative immunity levels ^a

Modulation method ^b		Sine wave 80 % AM at 1 kHz	"GSM-like" duty cycle 1:8 at 200 Hz	"DECT-like" duty cycle 1:24 at 100 Hz
↓ Equipment	↓ Response	dB	dB	dB
TV set ^c	Noticeable interference	0 ^d	–2	–2
	Strong interference	+4	+1	+2
	Screen off	~+19	+18	+19
Data terminal with RS232 interface ^e	Interference on the video screen	0 ^d	0	–
	Data errors	> +16	> +16	–
RS232 modem ^f	Data errors (injected on telephone interface)	0 ^d	0	0
	Data errors (injected on RS232 interface)	> +9	> +9	> +9
Regulated laboratory supply ^g	2 % error in DC output current	0 ^d	+3	+7
SDH cross connect ^h	Bit error threshold	0 ^d	0	–

^a The numbers in the table are a relative measure of the maximum RMS level (see Clause 3) of the disturbing signal (exposure) necessary to produce the same degree of interference with all modulations. A high decibel level means high immunity.

^b The disturbing signal is adjusted so that the same response (interference) is produced with all modulations.

^c The exposure is an RF current injected into the mains cable at 900 MHz. The response is the degree of interference produced on the screen. The assessment is rather subjective as the interference patterns are different for the different cases.

^d This case is chosen as the reference immunity level, i.e. 0 dB.

^e The exposure is an RF current injected into the RS232 cable at 900 MHz.

^f The exposure is an RF current injected into either the telephone or the RS232 cable at 900 MHz.

^g The exposure is an RF current at 900 MHz injected into the d.c. output cable.

^h SDH = synchronous digital hierarchy. The exposure is an incident electromagnetic field at 935 MHz.

The following items of digital equipment were tested using both sine wave AM and pulse modulation (duty cycle 1:2) at field strengths of up to 30 V/m:

- hand dryer with microprocessor control;
- 2 Mb modem with 75 Ω coaxial cable;
- 2 Mb modem with 120 Ω twisted pair cable;
- industrial controller with microprocessor, video display and RS485 interface;
- train display system with microprocessor;
- credit card terminal with modem output;
- digital multiplexer 2/34 Mb;
- Ethernet repeater (10 Mb/s).

All failures were associated with the analogue functions of the devices.

A.3 Secondary modulation effects

When trying to simulate exactly the modulation used in a digital radio telephone system, it is important not only to simulate the primary modulation but also to consider the impact of any secondary modulation which may be present.

For example, with GSM and DCS 1800, there are multi-frame effects caused by the suppression of a burst every 120 ms (thereby creating a frequency component at approximately 8 Hz). There may also be additional modulation at 2 Hz from the optional discontinuous transmission (DTX) mode.

A.4 Conclusion

It can be seen from the cases studied that the items tested responded to the disturbances independently of the modulation method used. When comparing the effects of different modulations, it is important to ensure that the same maximum RMS level of interfering signal is used.

Where significant differences existed between the effects of different modulation types, sine wave AM was always the most severe.

Where different responses are observed for sine wave modulation and TDMA, the product specific difference may be corrected by appropriate adjustment of the compliance criteria in the product standard.

In summary, sine wave modulation has the following advantages:

- narrow band detection response in analogue systems reducing background noise problems;
- universal applicability, i.e. no attempt to simulate the behaviour of the disturbing source;
- same modulation at all frequencies;
- always at least as severe as pulse modulation.

For the reasons stated above, the modulation method defined in this standard is 80 % AM sine wave. It is recommended that product committees change the modulation method only if there are specific reasons requiring a different type of modulation.

Annex B (informative)

Field generating antennas

B.1 Biconical antenna

This antenna consists of a coaxial balun and three-dimensional element which provide a broad frequency range and can be used both for transmitting and receiving. The antenna factor curve is a substantially smooth line, typically increasing with frequency.

The compact size of these antenna makes them ideal for use in restricted areas such as anechoic chambers as proximity effects are minimized.

B.2 Log-periodic antenna

A log-periodic antenna is an array of dipoles of different lengths connected to a transmission line.

These broadband antennas have a relatively high gain and low VSWR.

When choosing an antenna for the generation of fields, it should be established that the balun can handle the necessary power.

B.3 Horn antenna and double ridge wave guide antenna

Horn antennas and double ridge wave guide antennas produce linearly polarised electromagnetic fields. They are typically used at frequencies above 1 000 MHz.

Annex C (informative)

Use of anechoic chambers

C.1 General anechoic chamber information

A semi-anechoic chamber is a shielded enclosure having radio absorbing material on the walls and ceiling. Anechoic chambers also have such lining on the floor.

The purpose of this lining is to absorb the RF energy, preventing reflections back into the chamber. Such reflections, by interfering in a complex way with the directly radiated field, can produce maxima and minima in the intensity of the generated field.

The reflection loss of the absorbing material generally depends on the frequency of the incident wave and its angle to the normal. The loss (absorption) is typically greatest at normal incidence and decreases as the angle of incidence increases.

In order to break up reflections and enhance absorption, the absorbing material is often shaped into wedges or cones.

For semi-anechoic chambers, modification by the addition of extra RF absorbing material on the floor helps to achieve the required field uniformity at all frequencies. Experimentation will reveal the materials and positions for such additions.

The additional absorbing material should not be placed in the direct illumination path from the antenna to the EUT, but should be positioned in the identical location and orientation for testing as used during the calibration procedure.

Uniformity can also be improved by placing the field generating antenna off the axis of the chamber, such that any reflections are not symmetrical.

Anechoic chambers are less effective at low frequencies (below 30 MHz), whereas ferrite-lined chambers may also be less effective at frequencies above 1 GHz. Care shall be taken to ensure the uniformity of the generated field at the lowest and highest frequencies, and it may be necessary to rework the chamber.

C.2 Suggested adjustments to adapt for use at frequencies above 1 GHz ferrite-lined chambers designed for use at frequencies up to 1 GHz

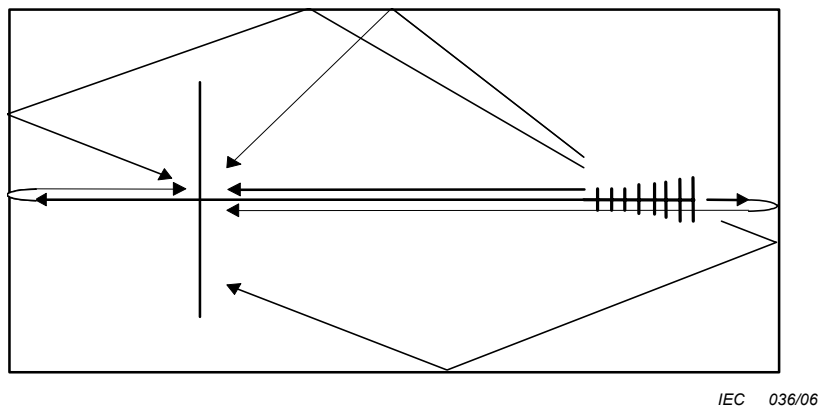
Most of the existing small anechoic chambers which use ferrite as an absorber are designed for use at frequencies up to 1 GHz. At frequencies above 1 GHz, it may be difficult or impossible for such chambers to satisfy the field uniformity requirement of 6.2 of this standard.

This paragraph presents information on the procedures to adapt such chambers for testing at frequencies above 1 GHz using the method described in Annex H.

C.2.1 Problems caused by the use of ferrite-lined chambers for radiated field immunity tests at frequencies above 1 GHz

The problem described below may occur, for example, in a small ferrite-lined anechoic chamber, or in a small (typically 7 m (*l*) × 3 m (*w*) × 3 m (*h*)) anechoic chamber lined with a combination of ferrite and carbon-loaded absorbers.

At frequencies above 1 GHz, the ferrite tiles usually behave as reflectors rather than as absorbers. It is very difficult to establish a uniform field over a 1,5 m × 1,5 m area at these frequencies owing to multiple reflections from the inner surfaces of the chamber (see Figure C.1).



IEC 036/06

Figure C.1 – Multiple reflections in an existing small anechoic chamber

At the frequencies of the radio telephone bands, the wavelength is shorter than 0,2 m. This means that test results are very sensitive to the positioning of the field-generating antenna and the field sensor or EUT.

C.2.2 Possible solution

In order to solve existing problems, the following procedures are suggested.

- Use a horn antenna or a double-ridge wave guide antenna to reduce the field radiated backwards. This also decreases reflections from the side walls of the chamber because of the narrow beam width of the antenna.
- Shorten the distance between the transmitting antenna and EUT to minimize reflections from the side walls (the distance between the antenna and EUT can be reduced to 1 m). Use the method of 0,5 m × 0,5 m independent windows (Annex H) to ensure that the EUT is exposed to a uniform field.
- Attach medium-loaded carbon type anechoic material to the rear wall facing the EUT to eliminate direct reflection. This reduces the sensitivity of the test to the positioning of the EUT and antenna. It also may improve field uniformity at frequencies below 1 GHz.

NOTE If a highly-loaded carbon type anechoic material is used, it may be difficult to satisfy the requirement for field uniformity at frequencies below 1 GHz.

Following the above procedures will eliminate most of the reflected waves (see Figure C.2).

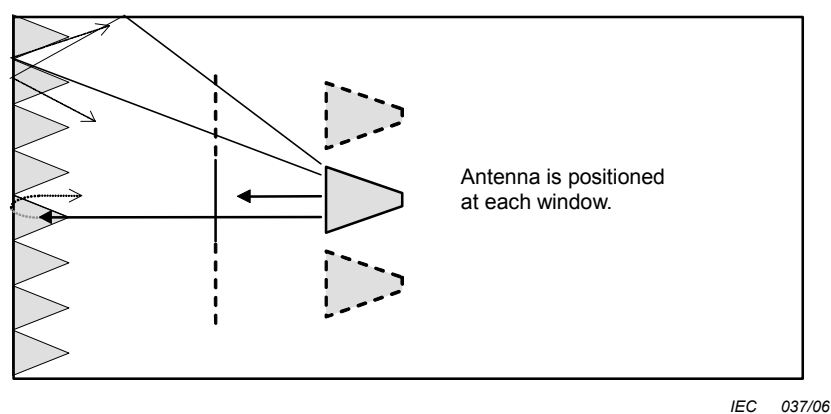


Figure C.2 – Most of the reflected waves are eliminated

Annex D

(informative)

Amplifier non-linearity and example for the calibration procedure according to 6.2

D.1 Objective of limiting amplifier distortion

The goal is to keep amplifier non-linearity at a level low enough such that it does not dominate the uncertainty of the value of the field strength. Consequently, a guideline is given to assist test laboratories in understanding and limiting amplifier saturation effects.

D.2 Possible problems caused by harmonics and saturation

Overloading the amplifier may result in the following scenarios.

- a) The harmonics may contribute significantly to the field.
 - 1) If this occurs during calibration, the field strength at the intended frequency is incorrectly measured, as the broadband field probe will measure the fundamental and its harmonics. For example, assume that the third harmonic is 15 dB below the fundamental frequency at the antenna terminal and all other harmonics can be ignored. Further assume that the effective antenna factor is 5 dB lower at the frequency of the third harmonic than at the fundamental frequency. The field strength of the fundamental frequency will be only 10 dB larger than the field strength of the third harmonic. If a total field strength of 10 V/m is measured, the fundamental frequency will contribute 9,5 V/m. This is an acceptable error, as it is smaller than the field probe amplitude uncertainty.
 - 2) If harmonics are significantly present during a test, they may cause an EUT failure although the EUT is robust at the intended fundamental frequency but not robust at the harmonic frequency.
- b) Harmonics may also affect the test result, even if they are very well suppressed in special situations. For example, if a 900 MHz receiver is tested, even very weak harmonics of a 300 MHz signal may overload the receiver input. A similar scenario may also occur if the signal generator outputs non-harmonically-related signals.
- c) Saturation may be present without measurable harmonics. This occurs if the amplifier has a low pass output filter which suppresses the harmonics. This situation may also lead to incorrect results.
 - 1) If this occurs during calibration, wrong calibration data will be derived as the assumption of linearity is used in the algorithm described in 6.2.
 - 2) During a test, this type of saturation will lead to an incorrect modulation index and harmonics of the modulation frequency (usually 1 000 Hz).

From the examples given above, it is clear that a numerical limit for amplifier distortion can not be given, as the effect of distortion depends heavily on the type of EUT tested.

D.3 Options for controlling amplifier non-linearity

D.3.1 Limiting the harmonic content in the field

The harmonic content of the field can be limited with the use of an adjustable/tracking/tunable low-pass filter at the output of the amplifier.

For all frequencies where harmonics are produced at the output of the amplifier, the rejection of these harmonics in the field by more than 6 dB below the fundamental is adequate, with exception of the scenario discussed in D.2 b).

This would limit the field strength error to 10 %. For example, a 10 V/m signal measured broadband would be caused by 9 V/m from the fundamental and 4,5 V/m from the harmonics. This is a situation which is acceptable for calibration uncertainty.

For amplifiers containing a fixed low-pass filter in their output, the upper fundamental frequency concerned is about 1/3 of the maximum specified frequency of the amplifier.

D.3.2 Measuring the harmonic content of the field

The harmonic content of the field can be either be measured directly using a selective field probe or indirectly by

- determining first the effective antenna factor (the ratio between input power and field strength for a given chamber and antenna position) and then the ratio between the forward powers at the fundamental frequency and the harmonics or
- with a coupler by taking account of the antenna factor at the harmonics as provided by the antenna manufacturer.

For situations in which a low pass filter suppresses harmonics of a saturated amplifier it is suggested under no circumstances (for example worst frequency, maximum field strength with modulation) to exceed the 2 dB compression point of the amplifier. At the 2 dB compression point, the peak amplitude (in voltage) would be reduced by 20 %. This would cause a reduction of the 80 % modulation index down to 64 %, in other words, a 20 % reduction of a voltage rectified within the EUT.

D.4 Examples showing the equivalence of the two calibration methods

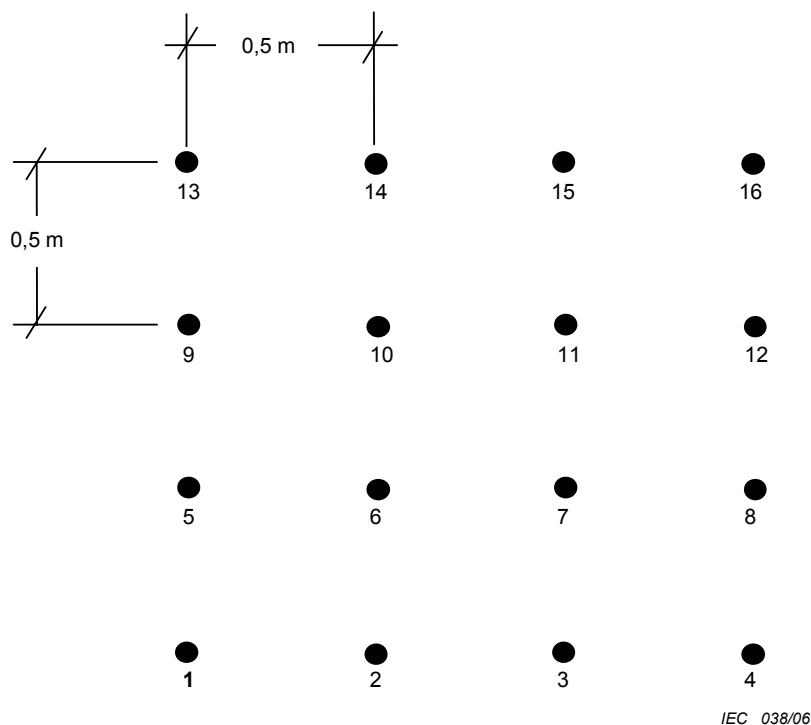


Figure D.1 – Measuring positions of the uniform field area

Figure D.1 shows the 16 positions where the field uniformity has to be measured. The distance between each of the 16 points has been fixed at 0,5 m.

D.4.1 Example for the calibration procedure using the constant field strength calibration method as described in 6.2.1

To create a constant field strength of $E_c = 6 \text{ V/m}$ (as an example) the following forward power values shown in Table D.1 have been measured at one particular frequency using the measuring setup according to Figure 7.

Table D.1 – Forward power values measured according to the constant field strength calibration method

Position	Forward power dBm
1	27
2	22
3	37
4	33
5	31
6	29
7	23
8	27
9	28
10	30
11	30
12	31
13	40
14	30
15	31
16	31

Table D.2 – Forward power values sorted according to rising value and evaluation of the measuring result

Position	Forward power dBm
2	22
7	23
1	27
8	27
9	28
6	29
10	30
11	30
14	30
5	31
12	31
15	31
16	31
4	33
3	37
13	40

NOTE

Position 13 : $40 - 6 = 34$, only 2 positions comply.
 Position 3 : $37 - 6 = 31$, only 6 positions comply.
 Position 4 : $33 - 6 = 27$, 12 positions comply.

In this example the measuring points 2, 3, 7 and 13 lie outside the ${}^{-0}_{+6}$ dB criterion but at least (in this example) 12 out of 16 points are within the criterion. Thus, at this particular frequency, the criterion is fulfilled. In this case, the forward power to be applied is 33 dBm. This ensures that for the 12 points the field strength E_c is at least 6 V/m (position 4) and at most 12 V/m (positions 1 and 8).

D.4.2 Example for the calibration procedure using the constant power calibration method as described in 6.2.2

Point No. 1 has been chosen as a first calibration point, where a target field strength E_c of 6 V/m has been produced. At the same forward power, the following field strengths shown in Table D.3 have been recorded at one particular frequency using the measuring setup according to Figure 7.

Table D.3 – Forward power and field strength values measured according to the constant power calibration method

Position	Forward power dBm	Field strength V/m	Field strength dB relative to position 1
1	27	6,0	0
2	27	10,7	5
3	27	1,9	–10
4	27	3,0	–6
5	27	3,8	–4
6	27	4,8	–2
7	27	9,5	4
8	27	6,0	0
9	27	5,3	–1
10	27	4,2	–1
11	27	4,2	–3
12	27	3,8	–4
13	27	1,3	–13
14	27	4,2	–3
15	27	3,8	–4
16	27	3,8	–4

Table D.4 – Field strength values sorted according to rising value and evaluation of the measuring result

Position	Forward power dBm	Field strength V/m	Field strength dB relative to position 1
13	27	1,3	–13
3	27	1,9	–10
4	27	3,0	–6
5	27	3,8	–4
12	27	3,8	–4
15	27	3,8	–4
16	27	3,8	–4
10	27	4,2	–3
11	27	4,2	–3
14	27	4,2	–3
6	27	4,8	–2
9	27	5,3	–1
1	27	6,0	0
8	27	6,0	0
7	27	9,5	4
2	27	10,7	5

NOTE
Position 13 : $-13 + 6 = -7$, only 2 positions comply.
Position 3 : $-10 + 6 = -4$, only 6 positions comply.
Position 4 : $-6 + 6 = 0$, 12 positions comply.

In this example the measuring points 13, 3, 7 and 2 lie outside the ${}_{+6}^{-0}$ dB criterion but at least (in this example exactly) 12 out of 16 points are within the criterion. Thus at this particular frequency the criterion is fulfilled. In this case the forward power to be applied for the field strength $E_c = 6$ V/m is $27 \text{ dBm} + 20 \log (6 \text{ V/m}/3 \text{ V/m}) = 33 \text{ dBm}$. This ensures that for the 12 points the field strength E_c is at least 6 V/m (position 4) but in maximum 12 V/m (positions 1 and 8).

Annex E (informative)

Guidance for product committees on the selection of test levels

E.1 Introduction

The transmitted power of radio transmitters is often specified in terms of ERP (effective radiated power) referred to a half-wave dipole. Therefore, the generated field strength, for the far field, can be directly obtained by the following dipole formula:

$$E = k \sqrt{P} / d \quad (\text{Equation E.1})$$

where

E is the field strength (RMS value) (V/m);

k is a constant, with a value of 7, for free-space propagation in the far field;

P is the power (ERP) (W);

d is the distance from the antenna (m).

Nearby reflecting and absorbing objects alter the field strength.

If the ERP of the transmitter is not known, the power provided to the antenna may be used in Equation E.1 instead. In this case, a value of $k = 3$ is typically applicable for mobile radio transmitters.

E.2 Test levels related to general purposes

The test levels and the frequency bands are selected in accordance with the electromagnetic radiation environment to which the EUT can be exposed when finally installed. The consequences of failure should be borne in mind in selecting the test level to be applied. A higher level should be considered if the consequences of failure are significant.

If the EUT is to be installed at only a few sites, then an inspection of local RF sources will enable a calculation of field strengths likely to be encountered. If the powers of the sources are not known, it may be possible to measure the actual field strengths at the location(s) concerned.

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

The following classes are related to the levels listed in Clause 5; they are considered as general guidelines for the selection of the corresponding levels.

- *Class 1:* Low-level electromagnetic radiation environment. Levels typical of local radio/television stations located at more than 1 km, and transmitters/receivers of low power.

- *Class 2:* Moderate electromagnetic radiation environment. Low power portable transceivers (typically less than 1 W rating) are in use, but with restrictions on use in close proximity to the equipment. A typical commercial environment.
- *Class 3:* Severe electromagnetic radiation environment. Portable transceivers (2 W rating or more) are in use relatively close to the equipment but not less than 1 m. High power broadcast transmitters are in close proximity to the equipment and ISM equipment may be located close by. A typical industrial environment.
- *Class 4:* Portable transceivers are in use within less than 1 m of the equipment. Other sources of significant interference may be within 1 m of the equipment.
- *Class x:* x is an open level which might be negotiated and specified in the product standard or equipment specification.

E.3 Test levels related to the protection against RF emissions from digital radio telephones

The test levels should be selected in accordance with the expected electromagnetic field, i.e. considering the power of the radio telephone equipment and the likely distance between its transmitting antenna and the equipment to be tested. Usually, mobile stations will give rise to more severe requirements than base stations (because mobiles tend to be located much closer to potentially susceptible devices than base stations).

The cost for establishing the required immunity and the consequences of failure should be borne in mind when selecting the test level to be applied. A higher level should only be considered if the consequences of failure are large.

Higher exposures than the selected test level may occur in practice with a lower rate of occurrence. In order to prevent unacceptable failures in those situations, it may be necessary to perform a second test at a higher level and accept a reduced performance (i.e. defined degradation accepted).

Table E.1 gives examples of test levels, performance criteria and the associated protection distances. The protection distance is the minimum acceptable distance to a digital radio telephone, when testing has been performed at the stated test level. These distances are calculated from Equation E.1, using $k = 7$ and assuming testing is carried out with an 80 % sinusoidal AM.

Table E.1 – Examples of test levels, associated protection distances and suggested performance criteria

Test level	Carrier field strength V/m	Maximum RMS field strength V/m	Protection distance for			Performance criteria ^a	
			2W GSM m	8W GSM m	¼W DECT m	Example 1 ^b	Example 2 ^c
1	1	1,8	5,5	11	1,9	–	–
2	3	5,4	1,8	3,7	0,6	a	–
3	10	18	0,6	1,1	~ 0,2 ^d	b	a
4	30	54	~ 0,2 ^d	0,4	~ 0,1 ^d	–	b
^a According to Clause 9. ^b Equipment for which the consequences of failure are not severe. ^c Equipment for which the consequences of failure are severe. ^d At these and closer distances, the far field Equation E.1 is not accurate.							

The following issues were considered when formulating the above table:

- for GSM, most terminals on the market today are of class 4 (maximum ERP 2 W). A substantial number of mobile terminals in operation are classes 3 and 2 (maximum ERP 5 W and 8 W, respectively). The ERP of GSM terminals is often lower than maximum except in areas of poor reception;
- the coverage indoors is worse than outdoors, which implies that the ERP indoors may more often than not adjust to the maximum of the class. This is the worst case situation from an EMC point of view since most of the victim equipment is also concentrated indoors;
- as described in Annex A, the immunity level of an item of equipment is well correlated with the maximum RMS value of the modulated field. For that reason, the maximum RMS field strength has been inserted into Equation E.1 instead of the carrier field strength to calculate the protection distance;
- the estimated minimum distance for safe operation, also called protection distance, has been calculated with $k = 7$ in Equation E.1 and does not take into account the statistical fluctuations of the field strength, due to reflections from walls, floor and ceiling, which are on the order of ± 6 dB;
- the protection distance according to Equation E.1 depends on the effective radiated power of the digital radio telephone and not on its operating frequency.

E.4 Special measures for fixed transmitters

The levels derived from the information in this Annex are typical values which are rarely exceeded in the described locations. At some locations these values will be exceeded e.g. radar installations, the proximity of high-power transmitters or ISM equipment located in the same building. In such cases, it may be preferable to shield the room or building and filter the signal and power wires to the equipment, rather than specify all equipment to be immune to such levels.

Annex F (informative)

Selection of test methods

This standard and IEC 61000-4-6 define two methods for testing the immunity of electrical and electronic equipment against radiated electromagnetic energy.

In general, tests with conducted signals are more useful at lower frequencies, and tests with radiated signals more useful at higher frequencies.

There is a range of frequencies for which the test methods which appear in either standard are useable. It is possible to use the test method defined in IEC 61000-4-6 up to 230 MHz. It is also possible to use the test method defined in this part down to 26 MHz. The purpose of this annex is to provide a guide to product committees and product specification writers in the selection of the most appropriate test method to ensure repeatability, based on the design and type of EUT.

Consideration should be given to:

- the wavelength of the radiated field compared to the mechanical dimensions of the EUT;
- the relative dimensions of the cabinets and wires of the EUT;
- the number of wires and enclosures which constitute the EUT.

Annex G (informative)

Description of the environment

G.1 Digital radio telephones

Tables G.1, G.2 and G.3 list radio system parameters relevant to EMC.

The abbreviations and definitions listed hereafter are used in the aforementioned tables:

- **CDMA (Code Division Multiple Access):** multiplexing where the transmitter encodes the signal using a pseudo-random sequence which the receiver also knows and can use to decode the received signal. Each different random sequence corresponds to a different communication channel;
- **CT-2 (Cordless Telephone, second generation):** cordless telephone system, widely used in some European countries;
- **DCS 1800 (Digital Cellular System):** cellular mobile telecommunication system, low cost, worldwide use;
- **DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications):** cordless cellular telecommunication system, low cost, widely used in Europe;
- **DTX (Discontinuous Transmission):** significantly reduced burst repetition frequency, used for power saving, when no information needs to be transmitted;
- **ERP (Effective Radiated Power):** effective radiated power referred to a half-wave dipole;
- **FDD (Frequency Division Duplex):** multiplexing in which different frequencies are allocated to the transmit and receive channels;
- **FDMA (Frequency Division Multiple Access):** multiplexing in which separate frequency bands are allocated to each channel;
- **GSM (Global System for Mobile Communications):** cellular mobile telecommunication system, worldwide use;
- **HIPERLAN:** High performance radio local area network;
- **IMT-2000 (International Mobile Telecommunication 2000):** 3rd generation cellular phone technology which according to the size and speed of transmissions, allow users to receive high quality colour video images;
- **NADC (North American Digital Cellular):** digital cellular mobile communication system, widely used in North America. A popular term used to describe digital cellular systems that comply with Telecommunications Industry Association Interim Standard – 54; also known as D-AMPS;
- **PDC (Personal Digital Cellular System):** cellular mobile telecommunication system, widely used in Japan;
- **PHS (Personal Handy Phone System):** cordless telephone system, widely used in Japan;
- **RFID (Radio Frequency Identification):** RFID systems include automatic article identification, asset tracking, alarm systems, personnel identification, access control, proximity sensors;

- **RTTT (Road Traffic & Transport Telematics):** includes road toll systems.
- **TDMA (Time Division Multiple Access):** see Clause 4;
- **TDD (Time Division Duplex):** multiplexing in which different time slots are allocated to the transmit and receive channels.

Table G.1 – Mobile and portable units

Parameters		System name								
		GSM	DCS 1800	DECT	CT-2	PDC	PHS	NADC	IMT-2000 TDD	IMT-2000 FDD
Transmitter frequency range		890 MHz to 915 MHz	1,71 GHz to 1,784 GHz	1,88 GHz to 1,96 GHz	864 MHz to 868 MHz	940 MHz to 956 MHz and 1,429 GHz to 1,453 GHz	1,895 GHz to 1,918 GHz	825 MHz to 845 MHz	1 900 MHz to 1 920 MHz	1 920 MHz to 1 980 MHz
Access Technique		TDMA	TDMA	TDMA/ TDD	FDMA/ TDD	TDMA	TDMA/ TDD	TDMA	CDMA/ TDMA TDD	CDMA/ FDMA FDD
Burst repetition frequency		217 Hz	217 Hz	100 Hz	500 Hz	50 Hz	200 Hz	50 Hz	NA	NA
Duty cycle		1:8	1:8	1:24 (also 1:48 and 1:12)	1:12	1:3	1:8	1:3	Continuous	Continuous
Maximum ERP		0,8 W; 2 W; 5 W; 8 W; 20 W	0,25 W; 1 W; 4 W	0,25 W	<10 mW	0,8 W; 2 W	10 mW	<6 W	0,25 W	0,25 W
Secondary modulation		2 Hz (DTX) and 0,16 Hz to 8,3 Hz (multi-frame)	2 Hz (DTX) and 0,16 Hz to 8,3 Hz (multi-frame)	None	None	None	None	None	None	None
Geographical area		Worldwide	Worldwide	Europe	Europe	Japan	Japan	USA	Europe	Europe

NOTE CT-3 is considered to be covered by DECT.

Table G.2 – Base stations

Parameters	System name								
	GSM	DCS 1800	DECT	CT-2	PDC	PHS	NADC	IMT-2000 TDD	IMT-2000 FDD
Transmitter frequency range	935 MHz to 960 MHz	1,805 GHz to 1,88 GHz	1,88 GHz to 1,96 GHz	864 MHz to 868 MHz	810 MHz to 826 MHz and 1,477 GHz to 1,501 GHz	1,895 GHz to 1,918 GHz	870 MHz to 890 MHz	1 900 MHz to 1 920 MHz	2 110 MHz to 2 170 MHz
Access Technique	TDMA	TDMA	TDMA/TDD	FDMA/TDD	TDMA	TDMA/TDD	TDMA	CDMA/TDMA TDD	CDMA/FDMA FDD
Burst repetition frequency	217 Hz	217 Hz	100 Hz	500 Hz	50 Hz	200 Hz	50 Hz	NA	NA
Duty cycle	1:8 to 8:8	1:8 to 8:8	1:2	1:2	1:3 to 3:3	1:8	1:3 to 3:3	Continuous	Continuous
Maximum ERP	2,5 W to 320 W	2,5 W to 200 W	0,25 W	0,25 W	1 W to 96 W	10 mW to 500 mW	500 W	20 W	20 W
Secondary modulation	2 Hz (DTX) and 0,16 Hz to 8,3 Hz (multi-frame)	2 Hz (DTX) and 0,16 Hz to 8,3 Hz (multi-frame)	None	None	None	None	None	None	None
Geographical area	Worldwide	Worldwide	Europe	Europe	Japan	Japan	USA	Europe	Europe
NOTE CT-3 is considered to be covered by DECT.									

Table G.3 – Other RF devices

Parameters	System name					
	RFID	RTTT	Wideband data transmission systems and HIPERLANs	Wideband data transmission systems and HIPERLANs	Wideband data transmission systems and HIPERLANs	Non specific short range devices
Transmitter frequency in MHz	2 446 – 2 454	5 795 – 5 815	2 400 – 2 483,5	5 150 – 5 350	5 470 – 5 725	2 400 – 2 483,5 5 725 – 5 875
Modulation type	FHSS if more than 500 mW	None	FHSS	None	None	None
Maximum ERP	a) 500 mW b) 4 W	2 W or 8 W	100 mW and spectrum power density limitation	200 mW mean	1 W mean	10 mW 25 mW
Duty cycle	a) up to 100 % b) <15 % within 200 ms period	No restrictions	No restrictions	No restrictions	No restrictions	No restrictions
Channel spacing	None	5 MHz or 10 MHz within some frequency ranges	None	None	None	None
Geographical area	Worldwide	Worldwide	Worldwide	Worldwide	Worldwide	Worldwide

Annex H (normative)

Alternative illumination method for frequencies above 1 GHz ("independent windows method")

H.1 Introduction

When testing at frequencies above 1 GHz, the test distance shall be 1 m when using the independent windows method (for example, the radio-telephone bands). Compliance with the field uniformity requirement shall be verified for the selected test distance.

NOTE 1 With a test distance of 3 m, using an antenna with a narrow beam width or a ferrite-lined chamber at frequencies above 1 GHz, it may be difficult to satisfy the field uniformity requirement over the 1,5 m × 1,5 m calibration area.

The alternative method for frequencies above 1 GHz divides the calibration area into a suitable array of 0,5 m × 0,5 m windows such that the whole area to be occupied by the face of the EUT is covered (see Figures H.1a and H.1b). The field uniformity shall be independently calibrated over each window (see Figure H.2), using the procedure given below. The field generating antenna shall be placed 1 m from the calibration area.

NOTE 2 Cable length and geometry are less critical at these high frequencies; therefore, the face area of the EUT is the determining factor for the size of the calibration area.

H.2 Calibration of field

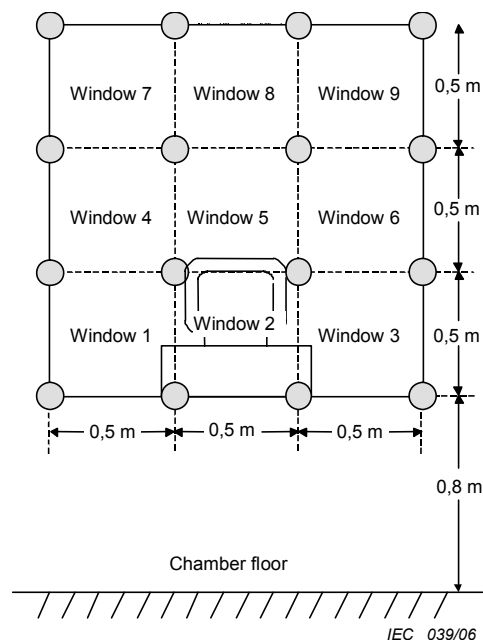
The following steps shall be performed on each window:

- a) position the field sensor at one of the four corners of the window;
- b) apply a forward power to the field generating antenna so that the field strength obtained is in the range 3 V/m to 10 V/m, through the frequency range in steps of 1 % of the starting frequency (and thereafter the preceding frequency) and record both (power and field strength) readings;
- c) with the same forward power, measure and record the field strength at the remaining three corners; all four field strengths shall lie within a range of 0 dB to 6 dB;
- d) take the location with the lowest field strength as reference (this ensures that the ${}^{-0}_{+6}$ dB requirement is met);
- e) forward power and the field strength being known, the necessary forward power for the required test field strength can be calculated (for example if, at a given point, 80 W gives 9 V/m, then 8,9 W is needed for 3 V/m). The calculation shall be recorded;
- f) repeat steps a) to e) for both horizontal and vertical polarizations.

The antennas and cables used for this uniform field calibration shall be used for testing. Therefore, the cable losses and the antenna factors of the field-generating antennas do not have to be taken into consideration.

The position of the generating antennas and cables shall be recorded as precisely as possible. Since even small displacements will significantly affect the field, the same positions shall be used for testing.

During the test, at each frequency the forward power established in step e) above shall be applied to the field-generating antenna. The test shall be repeated with the field-generating antenna repositioned to illuminate each of the required windows in turn (see Figures H.1 and H.2).

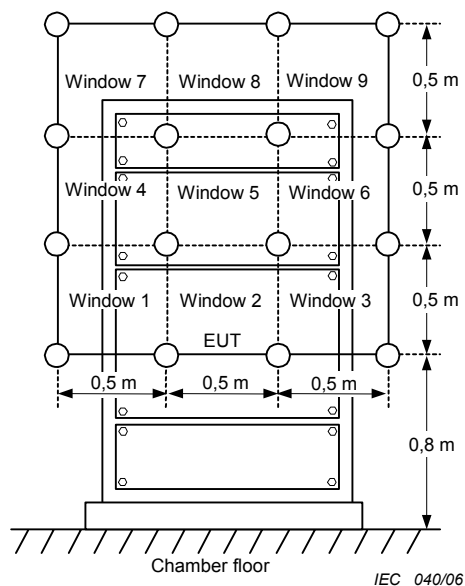


Concept of windows

1. Divide the calibration area into 0,5 m × 0,5 m windows.
2. Calibration is required for all windows intended to be occupied by the face of the actual EUT and cables.

(In this example, windows 1 to 3 and 5 are used for calibration and test)

Figure H.1a – Example of division for table-top equipment



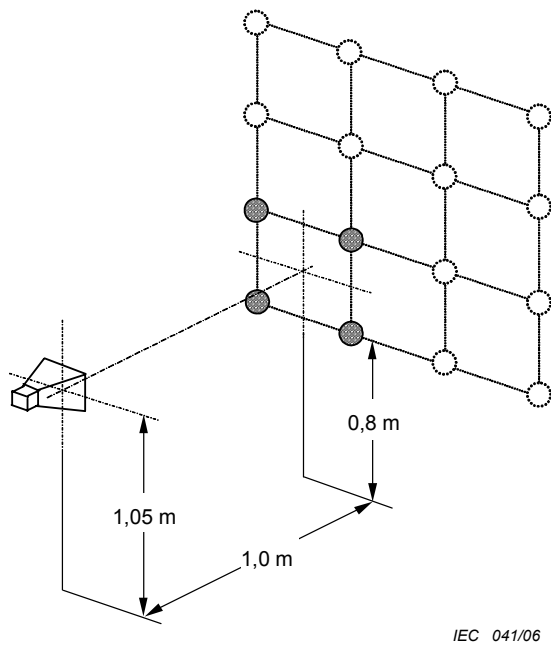
Concept of windows

1. Divide the calibration area into 0,5 m × 0,5 m windows.
2. Calibration is required for all windows intended to be occupied by the face of the actual EUT and cables.

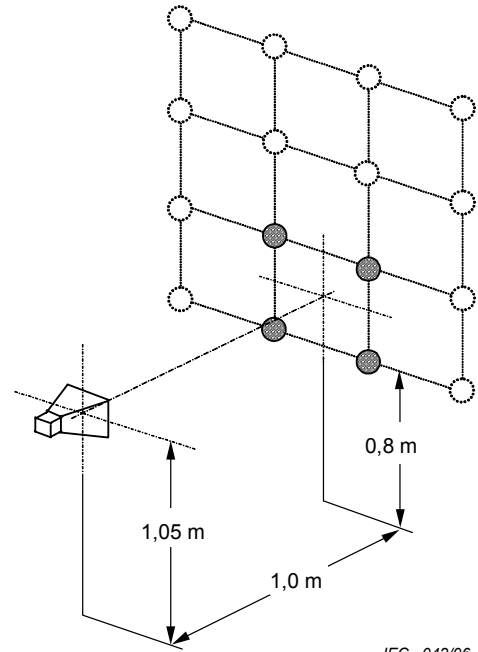
(In this example, windows 1 to 9 are used for calibration and test)

Figure H.1b – Example of division for floor-standing equipment

Figure H.1 – Examples of division of the calibration area into 0,5 m × 0,5 m windows



IEC 041/06



IEC 042/06

Figure H.2 – Example of illumination of successive windows

Annex I (informative)

Calibration method for E-field probes

I.1 Overview

E-field probes with broad frequency range and large dynamic response are extensively used in the field uniformity calibration procedures in accordance with IEC 61000-4-3. Among other aspects, the quality of the field probe calibration directly impacts the uncertainty budget of a radiated immunity test.

Generally, probes are subject to relatively low field strengths, e.g. 1 V/m – 30 V/m, during the field uniformity calibration in accordance with IEC 61000-4-3. Therefore a calibration of the E-field probes used within IEC 61000-4-3 shall take the intended frequency and dynamic ranges into consideration.

Currently probe calibration results may show differences when the probe is calibrated in different calibration laboratories. Therefore the environment and method for a field probe calibration are to be specified. This annex provides relevant information on calibration of probes to be used in IEC 61000-4-3.

For frequencies above the several hundred megahertz to gigahertz range, using standard gain horn antennas to establish a standard field inside an anechoic chamber is one of the most widely used methods for calibrating probes for IEC 61000-4-3 applications. However, there is a lack of an established method for validating the test environment for field probe calibrations.

In using this method, differences have been observed between calibration laboratories, beyond their reported measurement uncertainties.

Field probe calibrations in the 80 MHz to a few hundred megahertz range that are usually carried out in TEM waveguides are generally found to be more reproducible.

This informative annex therefore concentrates on improving the probe calibration procedures with horn antennas in anechoic chambers to which a comprehensive calibration procedure is depicted.

I.2 Probe calibration requirements

I.2.1 General

The calibration of E-Field probes intended to be used for UFA calibration procedure as defined in IEC 61000-4-3 shall satisfy the following requirements.

I.2.2 Calibration frequency range

The frequency range shall normally cover 80 MHz to 6 GHz but it may be limited to the frequency range required by the tests.

I.2.3 Frequency steps

To be able to compare test results between different calibration laboratories, it is necessary to use fixed frequencies for the calibration.

80 MHz to 1 GHz:

Use the following frequencies for the calibration of E-field probes (typically 50 MHz step width)

80, 100, 150, 200,..., 950, 1 000 MHz

1 GHz to 6 GHz:

Use the following frequencies for the calibration of E-field probes (200 MHz step width)

1 000, 1 200, 1 400,..., 5 800, 6 000 MHz

NOTE It is not intended to measure a probe at 1 GHz twice, but in case it is used up to or from 1 GHz, the probe needs to be measured at that frequency.

I.2.4 Field strength

The field strength at which a probe is calibrated should be based on the field strength required for the immunity test. As the preferred method for uniformity field calibration is carried out at field strength of at least 1,8 times the field strength to be applied to the EUT, it is recommended that the probe calibration be carried out at twice the intended test field strength (see Table I.1). If a probe is to be used at different field levels, it has to be calibrated at multiple levels according to its linearity, at least the minimum and maximum levels. See also I.3.2.

NOTE 1 This also covers the 1 dB compression requirement of the power amplifier.

NOTE 2 The calibration is performed using CW signals without modulation.

Table I.1 – Calibration field strength level

Calibration level	Calibration field strength
1	2 V/m
2	6 V/m
3	20 V/m
4	60 V/m
X	Y V/m
NOTE X,Y is an open calibration level which can be higher or lower than one of the other levels 1-4. This level may be given in the product specification or test laboratory.	

I.3 Requirements for calibration instrumentation

I.3.1 Harmonics and spurious signals

Any harmonics or spurious signals from the power amplifiers shall be at least 20 dB below the level at the carrier frequency. This is required for all field strength levels used during calibration and linearity check. Since the harmonic content of power amplifiers is usually worse at higher power levels, the harmonic measurement may be performed only at the highest calibration field strength. The harmonic measurement can be performed using a calibrated spectrum analyzer which is connected to the amplifier output through an attenuator, or through a directional coupler.

NOTE 1 The antenna may have additional influence on harmonic content and may need to be checked separately.

Calibration laboratories shall perform a measurement to validate that the harmonic and/or spurious signals from the amplifier satisfy the requirements for all measurement setups. This may be done by connecting a spectrum analyzer to Port 3 of the directional coupler (replacing the power meter sensor with the spectrum analyzer input – see Figure I.2).

NOTE 2 It should be assured that the power level does not exceed the maximum allowable input power of the spectrum analyzer. An attenuator may be used.

The frequency span shall cover at least the third harmonic of the intended frequency. The validation measurement shall be performed at the power level that will generate the highest intended field strength.

Harmonic suppression filters may be used to improve the spectrum purity of the power amplifier(s) (see Annex D).

I.3.2 Linearity check for probe

The linearity of the probe which is used for the chamber validation according to I.4.2.5 shall be within $\pm 0,5$ dB from an ideal linear response in the required dynamic range (see Figure I.1). Linearity shall be confirmed for all intended range settings if the probe has multiple ranges or gain settings.

In general probe linearity does not change significantly with frequency. Linearity checking can be performed at a spot frequency that is close to the central region of the intended use of frequency range, and where the probe response versus frequency is relatively flat. The selected spot frequency is to be documented in the calibration certificate.

The field strength for which the linearity of the probe is measured should be within -6 dB to $+6$ dB of the field strength which is used during the validation of the chamber, with a sufficiently small step size, e.g. 1 dB. Table I.2 shows an example of the field strength levels to be checked for a 20 V/m application.

Table I.2 – Example for the probe linearity check

Signal level	Calibration field strength
dB	V/m
-6,0	13,2
-5,0	14,4
-4,0	14,8
-3,0	15,2
-2,0	16,3
-1,0	18,0
0	20,0
1,0	22,2
2,0	24,7
3,0	27,4
4,0	30,5
5,0	34,0
6,0	38,0

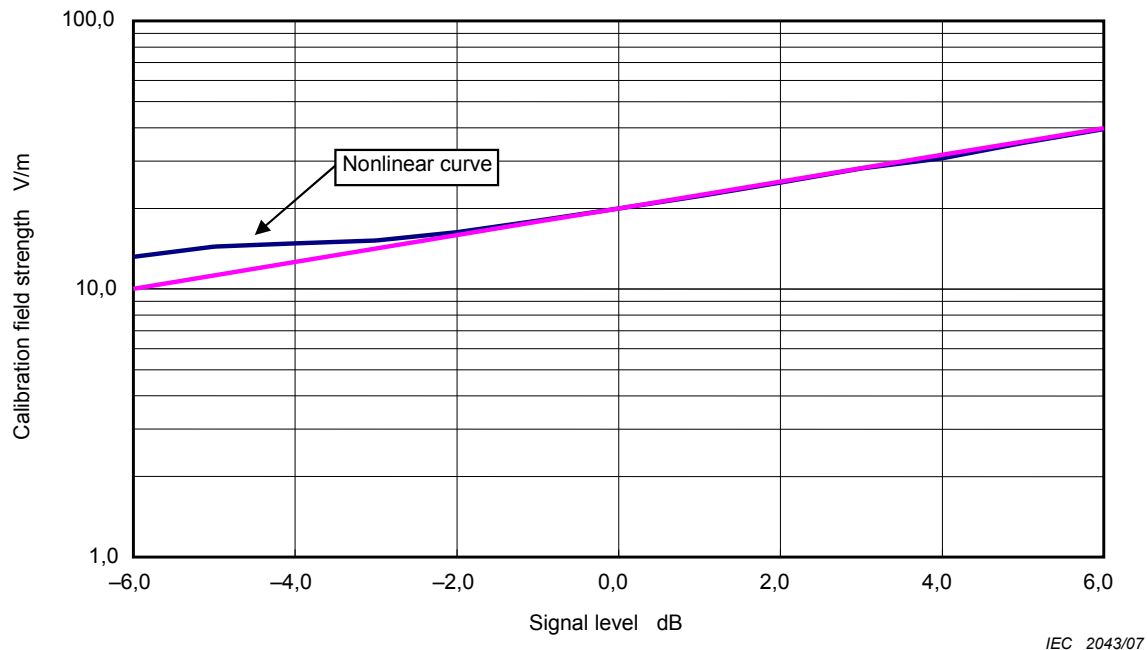


Figure I.1 – Example of linearity for probe

I.3.3 Determination of the gain of the standard horn antennas

Far field gain of the standard pyramidal horn antennas can be determined fairly accurately (less than 0,1 dB of uncertainties have been reported in [1]¹). The far-field gain is typically valid for distances greater than $8D^2 / \lambda$ (where D is the largest dimension of the horn aperture, and λ is the wavelength). Calibrations of field probes at such distances may not be practical due to the large anechoic chamber and high power amplifiers required. Field probes are typically calibrated in the near field region of the transmitting antennas. The near-field gain of standard gain horn antennas have been determined by using equations such as those described in [2]. The gain is computed based on the physical dimensions of a standard pyramidal horn, and by assuming a quadratic phase distribution at the horn aperture. The gain determined in this manner is inadequate for use in performing the chamber VSWR test and subsequent probe calibrations.

The equations (as given in [2]) were derived using aperture integration, by assuming that no reflection occurs at the aperture of the horn and that the field incident on the aperture is a TE₁₀ mode, but with a quadratic phase distribution across the aperture. Some approximations were applied during the integration to obtain the close form result. Other effects such as multiple reflections from the horn edge, and higher order modes at the aperture are not accounted for. Depending on the frequency and horn design, the error is generally in the order of $\pm 0,5$ dB, but can be larger.

For better accuracy, a numerical method using full wave integration can be used. For example, the uncertainties in the gain calculation by a numerical method can be reduced to less than 5 % [3].

The gain of a horn antenna can also be determined experimentally. For example, the gain can be determined at reduced distances with a three-antenna method by an extrapolation technique, such as that described in [4], or some variations of the method.

¹) Figures in square brackets refer to the reference documents in Clause I.6.

It is recommended that the distance between the horn antenna and the probe under test be at least $0,5D^2 / \lambda$ during the calibration. Large uncertainties in determining gains can result from a closer distance. The standing waves between the antenna and the probe can also be large for closer distances, which again would result in large measurement uncertainties in the calibration.

I.4 Field probe calibration in anechoic chambers

I.4.1 Calibration environments

The probe calibration should be performed in a fully anechoic room (FAR) or in a semi-anechoic chamber with absorbers on the ground plane which satisfies the requirement of I.4.2.

When a FAR is used, the recommended minimum size of the FAR internal working volume for performing the probe calibration is 5 m (D) × 3 m (W) × 3 m (H).

NOTE 1 For frequencies above several hundred MHz, using standard gain horn antennas to establish a standard field inside an anechoic chamber is one of the most widely used methods for calibrating field probes for IEC 61000-4-3 applications. At lower frequencies, such as 80 MHz to several hundred MHz, the use of an anechoic chamber may not be practical. So the field probe may be calibrated in other facilities also used for immunity tests against electromagnetic fields. Therefore, TEM waveguides etc. are included in this annex as alternative calibration environments for these lower frequencies.

The system and the environment used for probe calibration shall meet the following requirements.

NOTE 2 Alternatively, the electric field can be established using a transfer probe (see I.5.4).

I.4.2 Validation of anechoic chambers for field probe calibration

The probe calibration measurements assume a free space environment. A chamber VSWR test using a field probe shall be performed to determine whether it is acceptable for subsequent probe or sensor calibration. The validation method characterizes the performance of the chamber and absorbing material.

Each probe has a specific volume and physical size, for example the battery case and/or the circuit board. In other calibration procedures, a spherical quiet zone is guaranteed in the calibration volume. The specific requirements of this annex concentrate on a VSWR test for test points located at the antenna beam axes.

Test fixtures and their influences (such as the fixtures to hold the probe, which may be exposed to electromagnetic fields and interfere with the calibration) cannot be entirely evaluated. A separate test is required to validate the influences of the fixtures.

I.4.2.1 Measuring net power to a transmitting device using directional couplers

Net power delivered to a transmitting device can be measured with a 4-port bi-directional coupler, or two 3-port single directional couplers connected back-to-back (forming the so-called “dual directional coupler”). A common setup using a bi-directional coupler to measure the net power to a transmitting device is shown in Figure I.2.

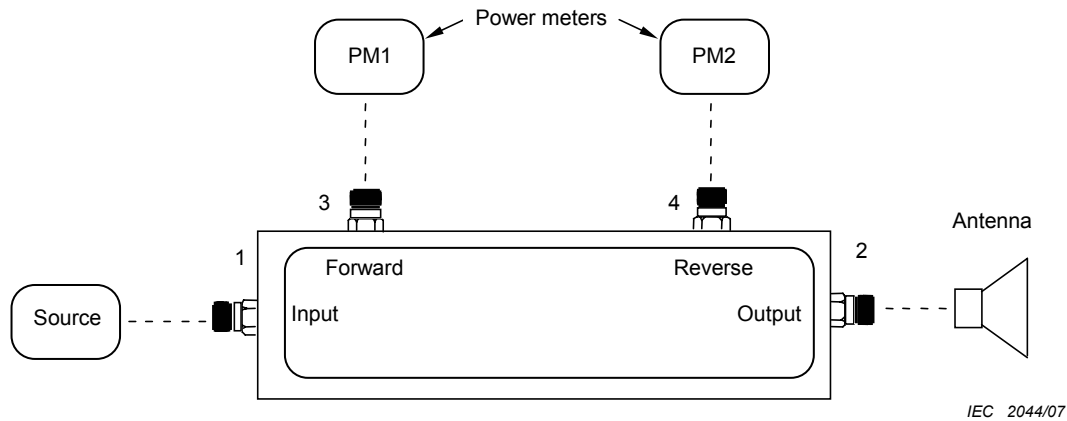


Figure I.2 – Setup for measuring net power to a transmitting device

The forward coupling, reverse coupling and transmission coupling are defined as the following equations in case where each port is connected with a matched load and a matched source:

$$C_{\text{fwd}} = \frac{P_3}{P_1},$$

$$C_{\text{rev}} = \frac{P_4}{P_2},$$

$$C_{\text{trans}} = \frac{P_2}{P_1},$$

where P_1 , P_2 , P_3 , P_4 are the respective powers at each port of the directional coupler.

The net power delivered to the transmitting device is then:

$$P_{\text{net}} = \frac{C_{\text{trans}}}{C_{\text{fwd}}} PM_1 - \frac{PM_2}{C_{\text{rev}}},$$

where PM_1 and PM_2 are the power meter readings in linear units.

Where the VSWR of the antenna is known, then a single three-port coupler can be used. For example, when the antenna has a VSWR of 1,5 this is equivalent to a voltage reflection coefficient (VRC) of 0,2.

The accuracy is affected by the directivity of the coupler. The directivity is a measure of the coupler's ability to isolate the forward and the reverse signals. For a well-matched transmitting device, the reverse power is much smaller than the forward power. The effect of the directivity is therefore less important than in a reflectivity application. For example, when the transmitting antenna has a VSWR of 1,5 and the coupler has a directivity of 20 dB, the absolute maximum uncertainty in the net power due to the finite directivity is 0,22 dB – 0,18 dB = 0,04 dB with a U-shaped distribution (where the 0,22 dB is the loss of the apparent incident power due to VSWR of 1,5).

The net power delivered to the transmitting device is then:

$$P_{\text{net}} = C_{\text{fwd}} PM_1 (1 - VRC^2)$$

I.4.2.2 Establishing a standard field using horn antennas

The gain of the horn antenna is determined by the methods described in I.3.3. The on-axis electric field (in V/m) is determined by

$$E = \sqrt{\frac{\eta_0 P_{\text{net}} g}{4\pi}} \frac{1}{d},$$

where $\eta_0 = 377 \, \Omega$ for free space, P_{net} (in W) is the net power determined by the method described in I.4.2.1, g is the numeric gain of the antenna determined by I.3.3 and d (in m) is the distance from the antenna aperture.

I.4.2.3 Chamber validation test frequency range and frequency steps

The chamber VSWR test shall cover the frequency range for which the calibration of the probe is intended, and use the same frequency steps as given in I.2.3.

VSWR tests shall be carried out in the chamber at the lowest and highest frequencies of operation of each antenna. Where narrow band absorbers are used, e.g. ferrites, more frequency points may need to be measured. The chamber should be used for probe calibration only in the frequency range where it meets the VSWR criteria.

I.4.2.4 Chamber validation procedure

The chamber used for the probe calibration shall be verified by the following procedure, except in cases where the physical conditions of the chamber do not allow it to be used. In such cases the alternative method of I.4.2.7 can be applied.

The probe shall be located at the measurement position using a support material with a low permittivity (e.g. styrene foam) in accordance with Figure I.3 and Figure I.4.

A field probe is placed at the location where it will be used for calibration. Its polarization and position along the boresight of the transmitting horn antenna will be varied to determine the chamber VSWR. The transmit antenna shall be the same for both the chamber VSWR test and the probe calibration.

The arrangements of the standard gain horn antenna and the probe inside the chamber are shown in Figure I.3. The probe and the horn antenna shall be set on the same horizontal axis with a separation distance L measured from the front face of the antenna to the centre of the probe.

In every case the field probe shall be laterally positioned in the centre of the horn antenna face.

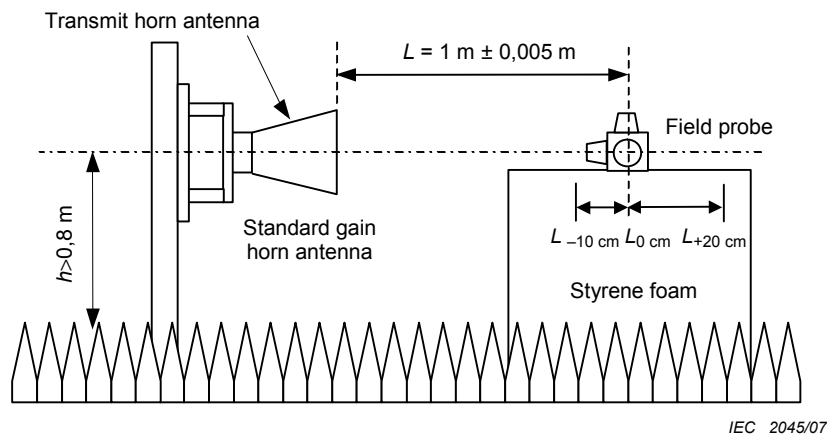


Figure I.3 – Test setup for chamber validation test

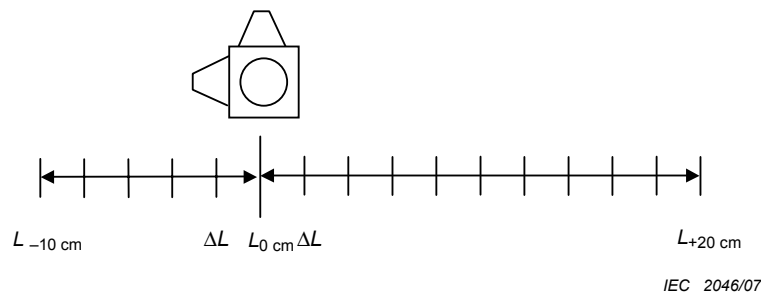


Figure I.4 – Detail for measurement position ΔL

The setup is illustrated in Figure I.3 and Figure I.4, where $L_{-10 \text{ cm}}$ to $L_{+20 \text{ cm}}$ is the probe calibration distance, measured from the face of the horn antenna to the centre of the field probe. $L_0 \text{ cm}$ is defined as position 0.

The positions will be $L_{-10 \text{ cm}}$, $L_{-8 \text{ cm}}$, $L_{-6 \text{ cm}}$, ..., L_0 , $L_{+2 \text{ cm}}$, $L_{+4 \text{ cm}}$, ..., $L_{+20 \text{ cm}}$, $\Delta L = 2 \text{ cm}$.

If the probe is placed in the near field of the transmitting horn antenna (distance $< 2 D^2/\lambda$, where D is the largest dimension of the antenna and λ is the free space wavelength), the gain of the transmitting antenna is not constant, and may need to be determined for each position.

A constant power creating certain field strength (e.g. 20 V/m) at 1 m distance is applied for all probe positions. With the transmit antenna and field probe both vertically polarized, the probe readings for all positions at all frequencies are recorded. The test is repeated with antenna and probe horizontally polarized.

All the readings shall satisfy the requirement shown in I.4.2.5.

I.4.2.5 VSWR acceptance criteria

VSWR measurement results shall be compared by using the following procedure. For the calculation of the field strength, refer to I.4.2.2.

a) Calculation of the field strength

The electrical field strength in the spatial area between the distances 90 cm and 120 cm is calculated in 2 cm steps for each frequency.

This calculation is based on the E-field strength of a 1 m distance used for verification.

b) Data adjustment

Data is adjusted with the following process because the probe used for the VSWR measurement may not deliver a reading equal to the calculated field strength.

- E-field strength indication value of the probe at a 1 m distance shall be adjusted to the 1 m position of the calculation. The obtained difference between probe indications and calculated strength is used as the correction value k for all the data at 90 cm and 120 cm.

For example: comparison between probe measurement value V_{mv} (e.g. 21 V/m) and calculated value V_{cv} (e.g. 20 V/m) at 1 m distance. In this case the correction value k is $V_{cv} - V_{mv} = -1$ V/m.

- The correction value k shall be added to the data that is observed at 90 cm to 120 cm measurement positions.
- The same calculation shall be applied to all measurement values of all measured frequencies. In the case of the above example, $k = -1$ V/m. Therefore $k = -1$ is added to all probe measurement value data.

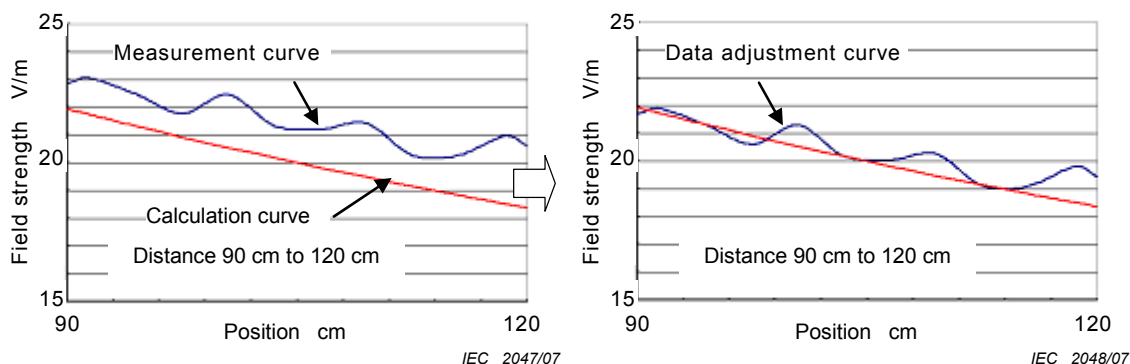


Figure I.5 – Example of data adjustment

c) Comparison of measurement data and calculation data

When the data difference in calculation curve and measurement curve exceeds $\pm 0,5$ dB in any measurement position, the chamber shall not be used for probe calibration.

NOTE The 0,5 dB criterion is established according to the measurement uncertainty budget and has been verified in several existing chambers that are suitable for calibration of field probes (including at least one national measurement institute calibration facility). It is anyhow only one contributor to the overall uncertainty.

Some field probes have a metal box or a pole such as the battery or a circuit. These units may cause reflection errors at certain distances and frequencies. When these probes are used, the influence of the reflection shall be minimized e.g. by rotating the probe or changing its orientation.

I.4.2.6 Probe fixture validation

The probe fixture may cause reflections of electromagnetic fields during the probe calibration. Therefore, the influence of the fixture on the calibration results shall be checked in advance.

The procedure defined in this clause shall be performed for any new probe fixtures to be used.

Procedure:

- a) Place the probe on a reference support made of a material with a relative permittivity of less than 1,2 and a dielectric loss tangent less than 0,005. The location of the probe shall be the same as for the calibration setup. The reference fixture should be as small as possible. Any other supporting structures shall be as non-intrusive as possible, and at least 50 cm away from the probe. Support structures in front (between the antenna and the probe) or behind the probe should be avoided.
- b) Generate a standard field that is within the dynamic range of the probe at the calibration position.
- c) Record the probe reading for all calibration frequency points. Rotate or re-position the probe as necessary for all calibration geometries (for three-axis isotropic field probes, each axis may need to be aligned separately), and repeat steps 1 and 2. Record probe readings for all orientations.
- d) Remove the reference fixture and replace it with the calibration fixture to be qualified. Repeat steps 2, and 3.
- e) Compare results from steps 3 and 4. The difference between the readings with the two fixtures for the same probe orientation shall be less than $\pm 0,5$ dB.

I.4.2.7 Alternative chamber validation procedure

This alternative chamber validation procedure is applicable when the validation procedure of I.4.2.4 cannot be applied.

A field probe is placed at the location where it will be used for calibration. Its polarization and position along the boresight of the transmitting horn antenna will be varied to determine the chamber VSWR. The transmit antenna shall be the same for both the chamber VSWR test and the probe calibration.

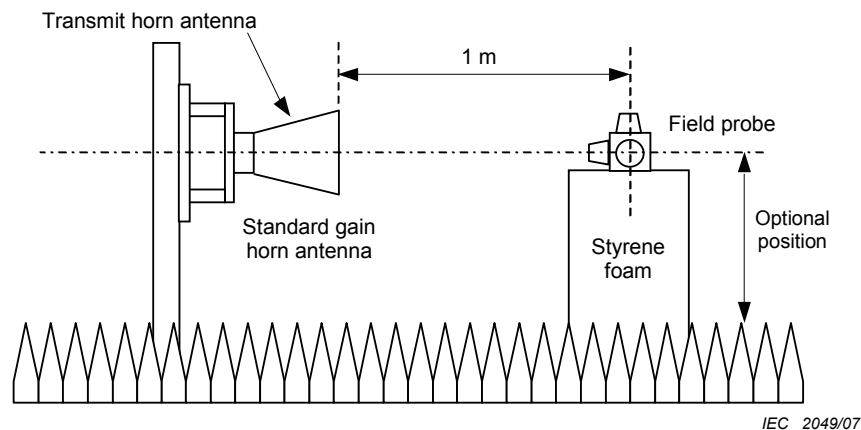


Figure I.6 – Example of the test layout for antenna and probe

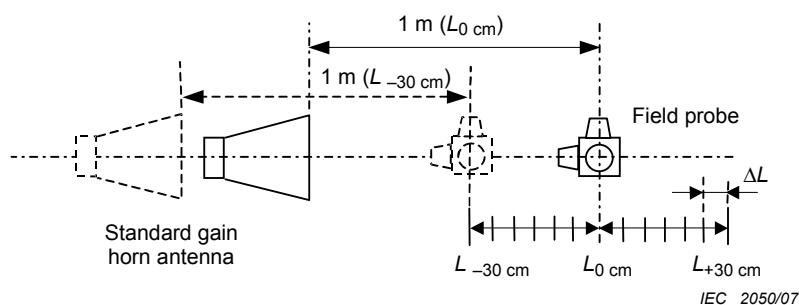


Figure I.7 – Test setup for chamber validation test

The setup is illustrated in Figures I.6 and I.7, where the probe calibration distance, measured from the face of the horn antenna to the centre of the field probe is maintained at a fixed distance, i.e. 1 m.

It is desirable to use material with low permittivity for the probe fixture to avoid influences on the measurement. The fixture used for probe calibration shall be evaluated separately (see I.4.2.6).

The positions will be $L - 30$ cm, $L - 25$ cm, $L - 20$ cm, ..., L_0 , $L + 5$ cm, $L + 10$ cm, ..., $L + 30$ cm, ΔL is 5 cm.

A constant field, e.g. 20 V/m, is generated for all positions. The generated field strength needs to be within the dynamic range of the field probe. With the transmit antenna and field probe both vertically polarized: record the probe reading for all positions at all frequencies. Repeat the test with the antenna and probe horizontally polarized.

At each frequency, there will be 26 independent probe readings (13 positions, and two polarizations). The maximum spread of the readings at each frequency shall be less than $\pm 0,5$ dB.

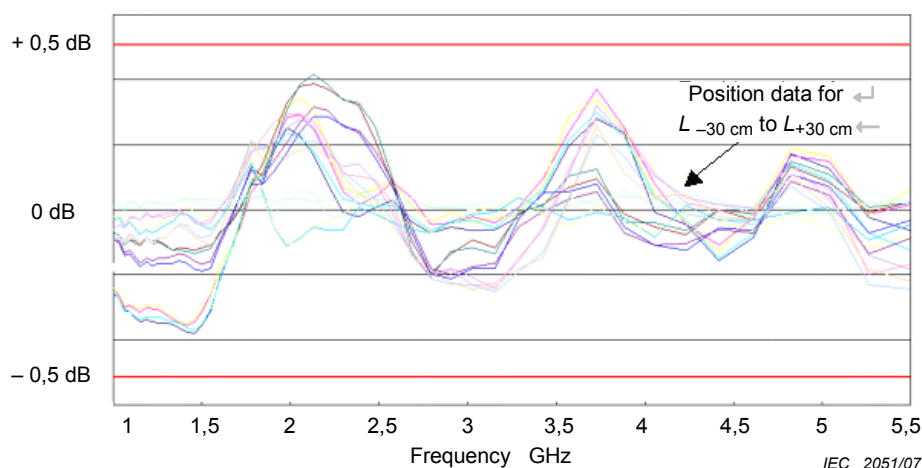


Figure I.8 – Example alternative chamber validation data

I.4.3 Probe calibration procedure

Many modern probes have internal correction factors to provide a linear response. Calibration laboratories may adjust the factors during calibration to give a probe response of $\pm 0,5$ dB from the ideal. If adjustments are made, the calibration laboratory should report the response both before and after adjustment.

The linearity check process should be applicable to the probe to be calibrated. For the influences of linearity on the calibration system, refer to I.3.2.

NOTE When it is not possible to adjust the probe, any non-linearity should be compensated for by the user when carrying out the field uniformity calibration.

The probe calibration shall use the measurement system/environment, which satisfies the requirement of I.4.

I.4.3.1 Test setup

A fixture that is not fully qualified according to I.4.2.6 can result in large measurement uncertainties. Therefore, the probe fixture validated per I.4.2.6 shall be used.

The calibration of the field probe should be done according preferably to the user specification or manufacturer's specification regarding the probe orientation. This orientation shall also be used in the test laboratory to limit the effect of isotropy. If the manufacturer does not specify any field probe orientation in the data sheet, the calibration should be performed in the probe orientation which can be considered as the "normal use" orientation of the probe or according to a preferred orientation defined by the test lab (which will use the probe). In any case the calibration report shall include the field probe orientation for which the calibration was undertaken.

The example of the measurement setup is shown in the Figures I.9 and I.10.

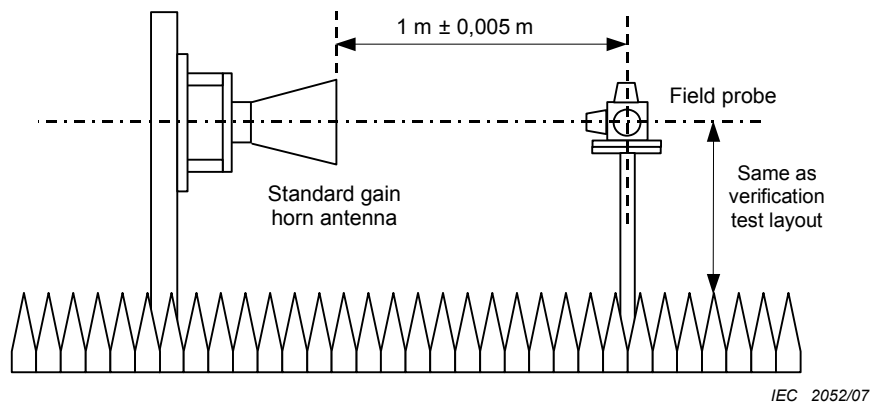


Figure I.9 – Field probe calibration layout

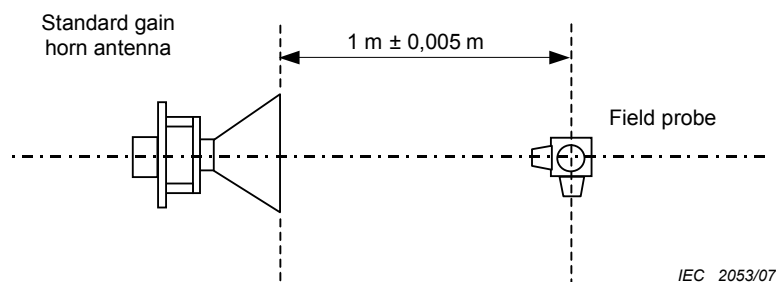


Figure I.10 – Field probe calibration layout (Top view)

I.4.3.2 Calibration report

The measurement results obtained in consideration of I.4.3.1 shall be reported as a calibration report.

This calibration report shall contain at least the following:

- a) calibration environment;
- b) probe manufacturer;
- c) type designation;
- d) serial number;
- e) calibration date;
- f) temperature and humidity;
- g) details of the calibration data:
 - frequency;
 - applied field strength (V/m);
 - probe reading (V/m);
 - probe orientation;
- h) measurement uncertainty.

NOTE IEEE Std 1309 [2] includes some guidance for probe-calibration measurement uncertainty.

I.5 Alternative probe calibration environments and methods

This clause describes the environment requirement for alternative calibration sites, e.g. necessary for the calibration in the low frequency range.

The calibration can be done in environments defined as independent from the test environment described in IEC 61000-4-3. In contrast to the equipment, which is tested for immunity, field probes are typically small and usually not equipped with conducting cables.

I.5.1 Field probe calibration using TEM cells

A rectangular TEM cell can be used to establish standard fields for field probe calibrations. The upper usable frequency of a TEM cell can be determined by methods described in 5.1 of IEC 61000-4-20. The upper frequency of a TEM cell is typically a few hundreds MHz. The field at the centre of a TEM cell between the septum and the top or bottom plate is calculated from:

$$E = \frac{\sqrt{Z_0 P_{\text{net}}}}{h} \text{ (V/m)},$$

where Z_0 is the characteristic impedance of the TEM cell (typically 50 Ω), P_{net} is the net power in Watt, which is determined according to I.4.2.1, h is the separation distance between the septum and the top or bottom plate (in m).

The VSWR of the TEM cell should be kept small, e.g. less than 1,3 to minimize the measurement uncertainties.

An alternative method of measuring P_{net} is to use a calibrated, low VSWR attenuator and power sensor connected to the output port of the TEM cell.

I.5.2 Field probe calibration using waveguide chambers

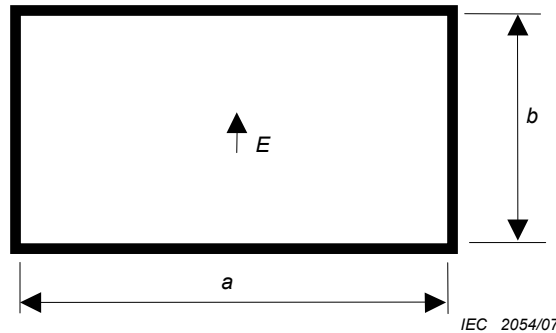


Figure I.11 – Cross-sectional view of a waveguide chamber

Calibration labs shall ensure that waveguide chambers operate in their dominant TE_{10} mode. Frequencies that can excite higher order modes shall be avoided. Waveguide manufacturers typically specify the frequency ranges for which only a dominant mode can exist. This can also be determined from the dimensions of the waveguide. The use of waveguide chambers is limited to approximately 300 MHz to 1 000 MHz with typical sized probes.

For a waveguide chamber with inner dimensions of a (m) x b (m) ($a > b$), the cut-off frequency of the dominant TE_{10} mode is:

$$(f_c)_{10} = \frac{1}{2a\sqrt{\mu\epsilon}},$$

where μ and ϵ are the permeability and permittivity of the waveguide media. For air-filled waveguides, $\mu = \mu_0 = 400\pi \text{ nHm}^{-1}$ and $\epsilon = \epsilon_0 = 8,854 \text{ pFm}^{-1}$. The cut-off frequency for an air-filled waveguide chamber is:

$$(f_c)_{10} = \frac{150}{a} \text{ MHz.}$$

The root-mean-square electric field at the centre of the waveguide is:

$$E = \sqrt{\frac{2\eta_0 P_{\text{net}}}{ab\sqrt{1 - ((f_c)_{10}/f)^2}}} \text{ (V/m),}$$

where f (in MHz) is the frequency of operation, $\eta_0 = 377 \Omega$ for air-filled waveguide, P_{net} (in W) is the net power delivered to the waveguide, and is determined by the method described in I.4.2.1. Note that the field inside a waveguide chamber is not a TEM wave, and the field is the largest at the centre of the waveguide (with a sinusoidal distribution, tapering to zero on the sidewalls). It is recommended that field probe calibrations be performed at the centre of the waveguide, where the field distribution has less variation (is more uniform) than at other locations. For more information on waveguide including how to calculate cut-off frequencies for other modes, refer to [5].

I.5.3 Field probe calibration using open-ended waveguides

An analytical solution and an empirical solution for the near-field gain of open-ended waveguides are provided in [6]. Since a simple theoretical solution for the near-field gain of open-ended waveguides is not available, one should determine the near-field gain of an open-ended waveguide by either full-wave numerical techniques or by measurement techniques as described in [4].

Once the near-field gain of the open-ended waveguides is determined, the calibration shall follow the procedure listed in I.4.3.

I.5.4 Calibration of field probes by gain transfer method

A transfer probe can be used to establish standard fields in a field-generating device (working standard device). The transfer probe response can be either determined by theoretical computations (for probes such as dipoles), or by calibrations performed according to the methods described in I.5.1 or I.5.2. The transfer function of the working standard, such as a GHz TEM cell, can be determined from the transfer probe. The field distribution in the working standard device should be mapped by the transfer probe; i.e. it has to be measured at as many locations as necessary to assess the field homogeneity in the test volume. Once the transfer function of the working standard device is known, probe calibration can be performed at other power levels provided that the working standard device is linear. A probe to be calibrated shall be placed at the same location where the transfer probe has been.

The transfer method is accurate if the following conditions are met:

- the setup does not change between the transfer and calibration procedures;
- the probe position during measurements is reproduced;
- the transmitted power remains the same;
- the probe under test is similar in construction (size and element design) to the transfer probe;
- the cables connecting the sensor head and readout do not disturb or pick up the field;
- the working standard device is largely anechoic.

References [7] and [8] have more information on this method.

I.6 Reference documents

- [1] STUBENRAUCH, C., NEWELL, C. A. C., REPJAR, A. C. A., MacREYNOLDS, K., TAMURA D. T., LARSON, F. H., LEMANCZYK, J., BEHE, R., PORTIER, G., ZEHREN, J. C., HOLLMANN, H., HUNTER, J. D., GENTLE, D. G., and De VREEDE, J. P. M. International Intercomparison of Horn Gain at X-Band. *IEEE Trans. On Antennas and Propagation*, October 1996, Vol. 44, No. 10.
- [2] IEEE 1309, *Calibration of Electromagnetic Field Sensors and Probes, Excluding Antennas, from 9 kHz to 40 GHz*.
- [3] KANDA, M. and KAWALKO, S. Near-zone gain of 500 MHz to 2.6 GHz rectangular standard pyramidal horns. *IEEE Trans. On EMC*, 1999, Vol. 41, No. 2.
- [4] NEWELL, Allen C., BAIRD, Ramon C. and Wacker, Paul F. Accurate measurement of antenna gain and polarization at reduced distances by extrapolation technique. *IEEE Trans. On Antennas and Propagation*, July 1973, Vol. AP-21, No. 4.
- [5] BALANIS, C. A.. *Advanced Engineering Electromagnetics*. John Wiley & Sons, Inc., 1989, pp 363-375.
- [6] WU, Doris I. and KANDA, Motohisa. Comparison of theoretical and experimental data for the near field of an open-ended rectangular waveguide. *IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility*, November 1989, Vol. 31, No. 4.
- [7] GLIMM, J., MÜNTER, K., PAPE, R., SCHRADER, T. and SPITZER, M. *The New National Standard of EM Field Strength; Realisation and Dissemination*. 12th Int. Symposium on EMC, Zurich, Switzerland, February 18-20, 1997, ISBN 3-9521199-1-1, pp. 611-613.
- [8] GARN, H., BUCHMAYR, M., and MULLNER, W. Precise calibration of electric field sensors for radiated-susceptibility testing. *Frequenz* 53 (1999) 9-10, Page 190-194.

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	74
INTRODUCTION	76
1 Domaine d'application et objet	77
2 Références normatives	77
3 Termes et définitions	78
4 Généralités	81
5 Niveaux d'essai	81
5.1 Niveaux d'essai relatifs aux cas généraux	82
5.2 Niveaux d'essai relatifs à la protection contre les émissions aux fréquences radioélectriques des radiotéléphones numériques et des autres dispositifs émetteurs RF	82
6 Matériel d'essai	83
6.1 Description des installations d'essai	83
6.2 Etalonnage du champ	84
7 Montage d'essai	89
7.1 Installation d'un matériel de table	89
7.2 Installation d'un matériel posé au sol	89
7.3 Disposition du câblage	90
7.4 Disposition d'un matériel porté par un corps humain	90
8 Procédure d'essai	90
8.1 Conditions de référence en laboratoire	90
8.2 Réalisation de l'essai	91
9 Evaluation des résultats d'essai	92
10 Rapport d'essai	92
 Annexe A (informative) Justification du choix de la modulation pour les essais relatifs à la protection contre les émissions aux fréquences radioélectriques des radiotéléphones numériques	101
Annexe B (informative) Antennes émettrices	106
Annexe C (informative) Utilisation de chambres anéchoïques	107
Annexe D (informative) Non-linéarité de l'amplificateur et exemple de procédure d'étalonnage selon 6.2	110
Annexe E (informative) Informations destinées aux comités de produits, sur le choix des niveaux d'essai	115
Annexe F (informative) Choix des méthodes d'essai	118
Annexe G (informative) Description de l'environnement	119
Annexe H (normative) Méthode alternative d'illumination pour des fréquences supérieures à 1 GHz ("méthode des fenêtres indépendantes")	124
Annexe I (informative) Méthode d'étalonnage des sondes de champ E	127
 Figure 1 – Définition du niveau d'essai et des formes d'onde apparaissant à la sortie du générateur de signaux	94
Figure 2 – Exemple d'installation d'essai	95
Figure 3 – Etalonnage du champ	96
Figure 4 – Etalonnage du champ, dimensions de la zone de champ uniforme	97
Figure 5 – Exemple de montage d'essai pour un matériel posé au sol	98

Figure 6 – Exemple de montage d'essai pour un matériel de table	99
Figure 7 – Dispositif de mesure	100
Figure C.1 – Réflexions multiples dans une petite chambre anéchoïque existante	108
Figure C.2 – La plupart des ondes réfléchies sont éliminées	109
Figure D.1 – Positions de mesure de la surface uniforme	112
Figure H.1 – Exemples de division de la surface d'étalonnage en fenêtres de 0,5 m × 0,5 m	125
Figure H.2 – Exemple d'illumination de fenêtres successives	126
Figure I.1 – Exemple de linéarité pour la sonde	130
Figure I.2 – Montage pour la mesure de la puissance nette vers un dispositif d'émission	132
Figure I.3 – Montage pour l'essai de validation de la chambre	134
Figure I.4 – Détail de la position de mesure ΔL	134
Figure I.5 – Exemple de mise au point de données	135
Figure I.6 – Exemple d'installation d'essai pour l'antenne et la sonde	136
Figure I.7 – Montage pour l'essai de validation de la chambre	137
Figure I.8 – Exemple de données de validation alternative de chambre	137
Figure I.9 – Installation d'étalonnage de la sonde de champ	138
Figure I.10 – Installation d'étalonnage de la sonde de champ (vue de dessus)	139
Figure I.11 – Vue en coupe d'une chambre en guides d'ondes	140
Tableau 1 – Niveaux d'essai relatifs aux cas généraux, radiotéléphones numériques et autres dispositifs émetteurs RF	81
Tableau 2 – Exigences pour la zone de champ homogène en vue de l'application de l'illumination totale, l'illumination partielle et la méthode des fenêtres indépendantes	85
Tableau A.1 – Comparaison des méthodes de modulation	102
Tableau A.2 – Niveaux de brouillage relatifs	103
Tableau A.3 – Niveaux d'immunité relatifs	104
Tableau D.1 – Valeurs de puissance incidente mesurées suivant la méthode d'étalonnage à amplitude de champ constante	113
Tableau D.2 – Valeurs de puissance incidente classées par ordre croissant et évaluation du résultat de mesure	113
Tableau D.3 – Valeurs de puissance incidente et d'amplitude de champ mesurées selon la méthode d'étalonnage à puissance constante	114
Tableau D.4 – Valeurs de l'amplitude de champ classées selon la valeur croissante et évaluation du résultat de mesure	114
Tableau E.1 – Exemples de niveaux d'essai, de distances de protection associées et suggestions de critères d'aptitude à la fonction	117
Tableau G.1 – Unités mobiles et portables	121
Tableau G.2 – Stations de base	122
Tableau G.3 – Autres dispositifs RFs	123
Tableau I.1 – Niveau de la valeur de champ d'étalonnage	128
Tableau I.2 – Exemple pour la vérification de la linéarité de la sonde	129

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-3: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques

AVANT-PROPOS

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

La Norme internationale CEI 61000-4-3 a été établie par le sous-comité 77B: Phénomènes haute fréquence, du comité d'études 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique.

Elle constitue la partie 4-3 de la norme CEI 61000. Elle a le statut de publication fondamentale en CEM en accord avec le Guide 107 de la CEI, *Compatibilité électromagnétique – Guide pour la rédaction des publications sur la compatibilité électromagnétique*.

La gamme des fréquences d'essai peut être étendue jusqu'à 6 GHz pour tenir compte des nouveaux services. L'étalonnage du champ ainsi que la vérification de la linéarité de la chaîne d'immunité sont précisées.

Cette version consolidée de la CEI 61000-4-3 comprend la troisième édition (2006) [documents 77B/485/FDIS et 77B/500/RVD] et son amendement 1 (2007) [documents 77B/546/FDIS et 77B/556/RVD].

Le contenu technique de cette version consolidée est donc identique à celui de l'édition de base et à son amendement; cette version a été préparée par commodité pour l'utilisateur.

Elle porte le numéro d'édition 3.1.

Une ligne verticale dans la marge indique où la publication de base a été modifiée par l'amendement 1.

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

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

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

INTRODUCTION

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

Partie 1: Généralités

Considérations générales (introduction, principes fondamentaux)

Définitions, terminologie

Partie 2: Environnement

Description de l'environnement

Classification de l'environnement

Niveaux de compatibilité

Partie 3: Limites

Limites d'émission

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

Partie 4: Techniques d'essai et de mesure

Techniques de mesure

Techniques d'essai

Partie 5: Guide d'installation et d'atténuation

Guide d'installation

Méthodes et dispositifs d'atténuation

Partie 6: Normes génériques

Partie 9: Divers

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

La présente partie constitue une norme internationale qui traite des prescriptions en matière d'immunité et des procédures d'essai qui s'appliquent aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-3: Techniques d'essai et de mesure – Essai d'immunité aux champs électromagnétiques rayonnés aux fréquences radioélectriques

1 Domaine d'application et objet

La présente partie de la CEI 61000 traite de l'immunité des matériels électriques et électroniques à l'énergie électromagnétique rayonnée. Elle définit les niveaux d'essai et les procédures d'essai nécessaires.

Cette norme a pour objet d'établir une référence commune d'évaluation des performances des matériels électriques et électroniques soumis à des champs électromagnétiques aux fréquences radioélectriques. La méthode d'essai documentée dans cette partie de la CEI 61000 décrit une méthode cohérente afin d'évaluer l'immunité d'un équipement ou d'un système vis-à-vis d'un phénomène défini.

NOTE 1 Comme décrit dans le Guide 107 de la CEI, c'est une publication fondamentale en CEM pour utilisation par les comités de produits de la CEI. Comme indiqué également dans le Guide 107, les comités de produits de la CEI sont responsables de déterminer s'il convient d'appliquer ou non cette norme d'essai d'immunité et, si c'est le cas, ils sont responsables de déterminer les niveaux d'essai et les critères de performance appropriés. Le comité d'études 77 et ses sous-comités sont prêts à coopérer avec les comités de produits à l'évaluation de la valeur des essais d'immunité particuliers pour leurs produits.

La présente partie traite des essais d'immunité relatifs à la protection contre les champs électromagnétiques RF de quelque source qu'ils soient.

Des considérations particulières sont consacrées à la protection contre les émissions aux fréquences radioélectriques des radiotéléphones numériques et d'autres dispositifs d'émission RF.

NOTE 2 Cette partie définit des méthodes d'essai pour évaluer l'incidence des rayonnements électromagnétiques sur le matériel concerné. La simulation et les mesures des rayonnements électromagnétiques ne sont pas suffisamment exactes pour déterminer quantitativement les effets. Les méthodes d'essai définies ont été principalement mises au point pour obtenir une bonne reproductibilité des résultats sur différentes installations d'essai en vue d'une analyse qualitative des effets.

La présente norme constitue une méthode d'essai indépendante. D'autres méthodes d'essai ne peuvent pas être utilisées comme substituts, pour revendiquer la conformité avec cette norme.

2 Références normatives

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

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

CEI 61000-4-6, *Compatibilité électromagnétique (CEM) – Partie 4-6: Techniques d'essai et de mesure – Immunité aux perturbations conduites, induites par les champs électromagnétiques aux fréquences radioélectriques*

3 Termes et définitions

Pour les besoins de la présente partie de la CEI 61000, les définitions suivantes et celles de la CEI 60050(161) s'appliquent.

3.1

modulation d'amplitude

opération par laquelle on fait varier l'amplitude d'une onde porteuse suivant une loi spécifiée

3.2

chambre anéchoïque

enceinte blindée revêtue d'un matériau absorbant les ondes radioélectriques afin de réduire les réflexions provenant des surfaces internes

3.2.1

chambre totalement anéchoïque

enceinte blindée dont les surfaces internes sont totalement revêtues d'un matériau absorbant

3.2.2

chambre semi-anéchoïque

enceinte blindée dont toutes les surfaces internes sont revêtues d'un matériau absorbant à l'exception du sol, qui doit être réfléchissant (plan de sol)

3.2.3

chambre semi-anéchoïque modifiée

chambre semi-anéchoïque dans laquelle des absorbants supplémentaires sont disposés sur le plan de sol

3.3

antenne

transducteur servant soit à l'émission de puissance aux fréquences radioélectriques dans l'espace à partir d'une source de signaux, soit à intercepter l'arrivée d'un champ électromagnétique en le convertissant en un signal électrique

3.4

symétriseur

dispositif transformant une tension symétrique par rapport à la masse en une tension asymétrique ou inversement

[VEI 161-04-34]

3.5

ondes entretenues

ondes électromagnétiques dont les oscillations successives sont identiques en régime établi et qui peuvent être interrompues ou modulées pour transmettre des informations

3.6

onde électromagnétique

énergie rayonnante créée par l'oscillation d'une charge électrique caractérisée par l'oscillation des champs électrique et magnétique

3.7

champ lointain

région dans laquelle la puissance surfacique émise par une antenne obéit approximativement à la loi de l'inverse du carré de la distance

Pour un dipôle, cela correspond à des distances supérieures à $\lambda/2\pi$ où λ désigne la longueur d'onde du rayonnement.

3.8**valeur du champ**

le terme «valeur du champ» n'est utilisé que pour les mesures effectuées en champ lointain. Ces mesures peuvent concerner soit la composante électrique, soit la composante magnétique du champ et peuvent être exprimées en V/m, A/m ou W/m², chacune de ces unités pouvant être convertie dans les autres unités

NOTE Pour les mesures effectuées en champ proche, on utilisera le terme de «champ électrique» ou de «champ magnétique» suivant que le champ résultant, électrique ou magnétique, est mesuré. Dans cette région du champ, la relation entre les valeurs des champs électrique et magnétique et la distance est complexe et difficile à prévoir puisqu'elle dépend des configurations spécifiques. Dans la mesure où il n'est généralement pas possible de déterminer la relation de phase spatio-temporelle des différentes composantes du champ complexe, la puissance surfacique est, de la même manière, indéterminée.

3.9**bande de fréquences**

gamme continue de fréquences située entre deux limites

3.10 **E_c**

amplitude du champ appliquée pour l'étalonnage

3.11 **E_t**

amplitude du champ de la porteuse utilisée pour l'essai

3.12**illumination globale**

méthode d'essai dans laquelle la face en cours d'essai de l'EST s'adapte complètement dans la zone de champ uniforme (UFA).

Cette méthode d'essai peut être appliquée pour toutes les fréquences d'essai.

3.13**matériel porté par un corps humain**

matériel prévu pour être utilisé lorsqu'il est porté par un corps humain.

Ce terme inclut les dispositifs portatifs qui sont tenus par les personnes pendant le fonctionnement (par exemple les dispositifs de poche) ainsi que les prothèses électroniques et les implants

3.14**méthode des fenêtres indépendantes**

méthode d'essai (qui utilise une UFA de 0,5 m × 0,5 m) dans laquelle la face en cours d'essai de l'EST ne s'adapte pas complètement dans l'UFA.

Cette méthode d'essai peut être appliquée pour les fréquences d'essai supérieures à 1 GHz.

3.15**champ d'induction**

champ électrique et/ou magnétique prédominant à une distance $d < \lambda/2\pi$, où λ désigne la longueur d'onde, et où les dimensions physiques de la source sont nettement plus petites que la distance d

3.16**dispositif d'émission RF intentionnelle**

dispositif qui rayonne (transmet) de façon intentionnelle un champ électromagnétique. Les exemples comprennent les téléphones numériques mobiles et d'autres services radio.

3.17

isotrope

ayant des propriétés d'égale valeur dans toutes les directions

3.18

valeur efficace maximale

valeur efficace de courte durée la plus élevée d'un signal à fréquence radioélectrique modulé, pendant une durée d'observation d'une période de modulation.

La valeur efficace de courte durée est évaluée sur une seule période de la porteuse. Par exemple, à la Figure 1b), la tension efficace maximale est la suivante:

$$V_{\text{eff. maximale}} = V_{\text{C-C}} / (2 \times \sqrt{2}) = 1,8 \text{ V}$$

3.19

modulation à enveloppe non constante

type de modulation où l'amplitude de l'onde porteuse varie lentement dans le temps en comparaison avec la période de la porteuse elle-même. Des exemples sont, notamment, la modulation d'amplitude conventionnelle et l'AMRT

3.20

P_c

puissance incidente dont on a besoin pour établir l'amplitude du champ d'étalonnage

3.21

illumination partielle

méthode d'essai (qui utilise une UFA de 1,5 m × 1,5 m au minimum) dans laquelle la face en cours d'essai de l'EST ne s'adapte pas complètement dans l'UFA.

Cette méthode d'essai peut être appliquée pour toutes les fréquences d'essai.

3.22

polarisation

orientation du vecteur de champ électrique d'un champ rayonné

3.23

enceinte blindée

structure métallique étanche ou à écran, expressément conçue dans le but d'isoler l'intérieur de l'environnement électromagnétique extérieur. Le but est d'empêcher les champs électromagnétiques ambiants extérieurs de provoquer une dégradation des performances et d'empêcher l'émission interne de provoquer des perturbations pour les activités extérieures

3.24

balayage

volution continue ou incrémentale sur une gamme de fréquences

3.25

AMRT (accès multiple réparti dans le temps)

type de modulation à multiplexage temporel qui place plusieurs canaux de communication sur la même onde porteuse à une fréquence allouée. A chaque canal est attribué un créneau de temps durant lequel, si le canal est actif, l'information est transmise comme une impulsion de puissance à fréquence radioélectrique. Si le canal n'est pas actif, aucune impulsion n'est transmise, et donc l'enveloppe de la porteuse n'est pas constante. Pendant l'impulsion, l'amplitude est constante et la porteuse à fréquence radioélectrique est modulée en fréquence ou en phase

3.26**émetteur/récepteur**

association dans un boîtier commun de matériel d'émission et de réception radio

3.27**zone de champ uniforme UFA**

plan vertical hypothétique du champ d'étalonnage dans lequel des variations sont faibles de manière acceptable.

L'étalonnage du champ a pour objet d'assurer la validité du résultat d'essai. Voir 6.2.

4 Généralités

La plupart des matériels électroniques sont, dans une certaine mesure, perturbés par les rayonnements électromagnétiques. Ces rayonnements proviennent souvent de sources tous usages comme les petits émetteurs/récepteurs radio portatifs utilisés par le personnel d'exploitation, de maintenance et de sécurité, les émetteurs fixes de radio et télévision, les émetteurs radio utilisés à bord des véhicules et les diverses sources électromagnétiques industrielles.

Ces dernières années, il a été constaté une augmentation significative de l'utilisation de radiotéléphones et autres dispositifs d'émission RF fonctionnant à des fréquences comprises entre 0,8 GHz et 6 GHz. Beaucoup de ces services utilisent des méthodes de modulation avec une enveloppe non constante (par exemple AMRT). Voir 5.2.

En dehors de cette énergie électromagnétique rayonnée de façon délibérée, il existe également des rayonnements provoqués par des appareils de soudure, des thyristors, des éclairages fluorescents, des commutateurs de charges inductives, etc. Pour la plus grande part, ces perturbations se manifestent sous forme de perturbations électriques conduites et, en tant que telles, sont traitées dans d'autres parties de la série des normes CEI 61000-4. Les méthodes utilisées pour prévenir les effets des champs électromagnétiques réduisent aussi normalement les effets provoqués par ces sources.

L'environnement électromagnétique est déterminé par la valeur du champ électromagnétique. Les structures environnantes ou la proximité d'autres matériels déformant et/ou réfléchissant les ondes électromagnétiques rendent la mesure du champ difficile sans l'utilisation d'instruments sophistiqués et son calcul n'est pas aisé avec les équations et les formules classiques.

5 Niveaux d'essai

Les niveaux d'essai sont indiqués dans le Tableau 1.

Tableau 1 – Niveaux d'essai relatifs aux radiotéléphones numériques et autres dispositifs émetteurs RF destinés à un usage général

Niveau	Valeur du champ d'essai V/m
1	1
2	3
3	10
4	30
x	Spécial
NOTE x est un niveau à déterminer et l'amplitude du champ associée peut être quelconque. Ce niveau peut être donné dans la norme de produit.	

Cette norme ne suggère pas qu'un seul niveau d'essai est applicable sur toute la gamme des fréquences. Les comités de produits doivent sélectionner le niveau d'essai approprié pour chaque gamme de fréquences à tester, ainsi que les gammes de fréquences. A titre d'indication pour les comités de produits quant à la sélection des niveaux d'essai, voir l'Annexe E.

La colonne "Valeur du champ d'essai" indique la valeur de champ du signal non modulé. Pour l'essai du matériel, ce signal est modulé en amplitude à 80 % avec une onde sinusoïdale de 1 kHz pour simuler les menaces réelles (voir Figure 1). Pour la description de l'essai, se reporter à l'Article 8.

5.1 Niveaux d'essai relatifs aux cas généraux

Les essais sont normalement réalisés sans trous dans la gamme de fréquences 80 MHz à 1 000 MHz.

NOTE 1 Les comités de produit peuvent décider de choisir une fréquence frontière plus basse ou plus élevée que 80 MHz entre la présente norme et la CEI 61000-4-6 (voir Annexe G).

NOTE 2 Les comités de produit peuvent adopter un autre type de modulation.

NOTE 3 La CEI 61000-4-6 définit également des méthodes d'essai d'immunité des matériels électriques et électroniques aux rayonnements électromagnétiques. Elle couvre les fréquences en dessous de 80 MHz.

5.2 Niveaux d'essai relatifs à la protection contre les émissions aux fréquences radioélectriques des radiotéléphones numériques et des autres dispositifs émetteurs RF

Les essais sont normalement réalisés dans les gammes de fréquences de 800 MHz à 960 MHz et de 1,4 GHz à 6 GHz.

Les fréquences ou bandes de fréquences à sélectionner pour l'essai sont limitées à celles pour lesquelles les radiotéléphones mobiles et les autres dispositifs émetteurs RF intentionnels fonctionnent réellement. Il n'est pas prévu que l'essai ait besoin d'être appliqué en continu sur la totalité de la gamme de fréquences de 1,4 GHz à 6 GHz. Pour les bandes de fréquence utilisées par les radiotéléphones mobiles et les autres dispositifs émetteurs RF, des niveaux d'essai spécifiques peuvent être appliqués dans la gamme de fréquences de fonctionnement correspondante.

Aussi, si le produit est prévu pour être conforme uniquement à des exigences de pays particuliers, la gamme de mesures de 1,4 GHz à 6 GHz peut être réduite pour couvrir uniquement les bandes de fréquences spécifiques allouées aux radiotéléphones numériques et autres dispositifs émetteurs RF dans ces pays. Dans ce cas, la décision d'effectuer les essais dans des bandes de fréquences réduites doit être consignée dans le rapport d'essai.

NOTE 1 L'Annexe A contient une explication du choix de la modulation sinusoïdale pour les essais relatifs à la protection contre les émissions aux fréquences radioélectriques des radiotéléphones numériques et autres dispositifs émetteurs RF intentionnels.

NOTE 2 L'Annexe E contient des informations pour le choix des niveaux d'essai.

NOTE 3 Les gammes de mesures du Tableau 2 sont les bandes de fréquences généralement allouées aux radiotéléphones numériques (l'Annexe G contient la liste des fréquences allouées aux radiotéléphones numériques spécifiques connues au moment de la publication).

NOTE 4 La principale menace au-dessus de 800 MHz vient des systèmes de radiotéléphone et des autres dispositifs émetteurs RF intentionnels. D'autres systèmes fonctionnant dans cette gamme de fréquences, par exemple les LAN fonctionnant à 2,4 GHz ou à des fréquences supérieures, sont généralement de faible puissance (typiquement inférieure à 100 mW) et il est donc peu probable qu'ils présentent des problèmes importants.

6 Matériel d'essai

Les types de matériel d'essai suivants sont recommandés:

- *Chambre anéchoïque*: d'une taille adéquate pour permettre de maintenir un champ uniforme de dimensions suffisantes par rapport au matériel à essayer (EST). Des absorbants supplémentaires peuvent être utilisés pour atténuer les réflexions dans les chambres qui ne sont pas entièrement revêtues de matériau absorbant.
- *Filtres de réjection des perturbations électromagnétiques*: des précautions doivent être prises pour que ces filtres n'introduisent aucun effet de résonance sur les lignes.
- *Générateurs de signaux à fréquences radioélectriques (r.f.)* capables de couvrir la bande de fréquences concernée et d'être modulés en amplitude par une onde sinusoïdale de 1 kHz avec un taux de modulation de 80 %. Ils doivent pouvoir être réglés manuellement (par exemple fréquence, amplitude, indice de modulation) ou bien, dans le cas de synthétiseurs RF, pouvoir être programmés par pas de fréquence et temps de maintien.

L'utilisation de filtres passe-bas ou passe-bande peut être nécessaire pour éviter des problèmes dus aux harmoniques.

- *Amplificateurs de puissance*: pour amplifier le signal (non modulé et modulé) et fournir à l'antenne émettrice la puissance nécessaire pour obtenir le niveau de champ souhaité. Les harmoniques générés par les amplificateurs de puissance doivent être tels que toute amplitude de champ mesurée dans l'UFA à chaque fréquence harmonique soit au moins 6 dB en dessous de celle de la fréquence fondamentale (voir Annexe D).
- *Antennes émettrices (voir Annexe B)*: biconique, log-périodique, cornet ou toute autre antenne à polarisation linéaire répondant aux exigences de fréquence.
- Une *sonde de champ isotropique* dont les amplificateurs de tête et l'optoélectronique présentent une immunité correcte aux champs à mesurer, et une liaison à fibre optique avec l'indicateur situé à l'extérieur de la chambre. Il est également possible d'utiliser une liaison correctement filtrée. L'Annexe I donne une méthode d'étalonnage des sondes de champ E.
- *Matériels associés pour enregistrer les niveaux de puissance* nécessaires à la valeur du champ requis et pour contrôler la génération de ce signal pour les essais.

Des précautions doivent être prises pour que les matériels auxiliaires présentent une immunité suffisante.

6.1 Description des installations d'essai

Etant donné l'amplitude des champs produits, et afin de ne pas enfreindre les réglementations nationales et internationales interdisant de brouiller les systèmes de radiocommunication, les essais doivent être réalisés dans une chambre blindée. De plus, étant donné que la plupart des matériels d'essai utilisés pour recueillir des données sont sensibles au champ électromagnétique ambiant local généré pendant l'exécution de l'essai d'immunité, la chambre blindée fournit la «barrière» indispensable entre le matériel à essayer (EST) et les instruments d'essai nécessaires. Des précautions doivent être prises pour s'assurer que le câblage d'interconnexion pénétrant dans la chambre blindée atténue convenablement l'émission conduite et rayonnée et préserve l'intégrité du signal et de la puissance de l'EST.

L'installation d'essai consiste typiquement en une chambre blindée, revêtue d'un matériau absorbant, suffisamment grande en regard de l'EST tout en permettant le contrôle correct du champ. Cette installation d'essai comprend des chambres anéchoïques ou des chambres semi-anéchoïques modifiées, dont un exemple est illustré par la Figure 2. Il convient que des chambres blindées associées logent les matériels générateurs et contrôleurs de champ, ainsi que le matériel mettant l'EST à l'épreuve.

Les chambres anéchoïques sont moins efficaces aux basses fréquences. Des précautions particulières doivent être prises pour assurer l'uniformité du champ généré aux basses fréquences. Pour plus d'informations, se reporter à l'Annexe C.

6.2 Etalonnage du champ

Le but de l'étalonnage du champ est de s'assurer que l'uniformité du champ sur l'ensemble de l'échantillon à l'essai est suffisante pour obtenir des résultats d'essai corrects. La présente norme utilise la notion de zone de champ uniforme (UFA, voir Figure 3), qui représente un plan vertical hypothétique du champ dans lequel les variations sont assez faibles pour être considérées comme acceptables. Dans une procédure commune (étalonnage du champ), la capacité de l'installation d'essai et du matériel d'essai à générer un tel champ est démontrée. Au même moment une base de données, permettant d'établir l'amplitude du champ nécessaire pour l'essai d'immunité, est obtenue. L'étalonnage du champ est valide pour tous les EST dont chaque face (incluant tout câblage) peut être totalement couverte par l'UFA.

L'étalonnage du champ est réalisé sans EST installé (voir Figure 3). Dans cette procédure, la relation entre l'amplitude du champ à l'intérieur de l'UFA et la puissance incidente appliquée à l'antenne est déterminée. Au cours de l'essai, la puissance incidente nécessaire est calculée à partir de cette relation et de l'amplitude cible du champ. L'étalonnage reste valable tant que l'installation d'essai qu'il utilise est inchangée pour l'essai, par conséquent l'installation d'étalonnage (antenne, absorbant additionnel, câbles, etc) doit être relevée. Il est important que la position exacte, autant que cela soit raisonnablement possible, des antennes émettrices et des câbles soit documentée. Etant donné que même de petits déplacements peuvent affecter le champ de manière significative, les mêmes positions doivent être utilisées aussi pour l'essai d'immunité.

Il est admis qu'un étalonnage complet soit réalisé au moins une fois par an et quand des changements ont été effectués dans la configuration de la chambre (absorbants remplacés, zone modifiée, matériel changé, etc.). Avant chaque campagne d'essai (voir Article 8), la validité de l'étalonnage doit être contrôlée.

L'antenne d'émission doit être placée à une distance suffisante pour permettre à l'UFA de tomber à l'intérieur de la largeur du faisceau du champ transmis. La sonde de champ doit être à une distance minimale de 1 m de l'antenne émettrice. Une distance de 3 m entre l'antenne et l'UFA est préférée (voir Figure 3). Cette distance est mesurée à partir du centre d'une antenne biconique, de l'extrémité d'une antenne log-périodique ou d'une antenne combinée, ou du bord avant d'une antenne en guide d'onde de type cornet ou à double moulure. Le rapport d'étalonnage et le rapport d'essai doivent indiquer la distance utilisée.

A moins que l'EST et ses câbles puissent être totalement illuminés à l'intérieur d'une surface plus petite, la taille de l'UFA est au moins 1,5 m × 1,5 m, avec son bord inférieur établi à une hauteur de 0,8 m au-dessus du sol. La taille de l'UFA ne doit pas être inférieure à 0,5 m × 0,5 m. Au cours de l'essai d'immunité, la face de l'EST à illuminer doit être en coïncidence avec cette UFA (voir Figures 5 et 6).

Afin d'établir la sévérité de l'essai pour les EST et leurs câblages qui doivent être testés près du sol (plan de référence), l'amplitude du champ est aussi enregistrée à une hauteur de 0,4 m. Les données obtenues sont documentées dans le rapport d'étalonnage, mais ne sont pas prises en considération pour la convenance de l'installation d'essai ni pour la base de données d'étalonnage.

Du fait des réflexions sur le sol dans une salle semi-anéchoïque, il est difficile d'établir une UFA proche d'un plan de référence. Des matériaux absorbants supplémentaires disposés sur le plan de référence peuvent résoudre ce problème (voir Figure 2).

L'UFA est subdivisée en une grille dont l'espacement de quadrillage est de 0,5 m (voir Figure 4 comme exemple d'UFA de 1,5 m × 1,5 m). A chaque fréquence, un champ est considéré comme uniforme si son amplitude, mesurée aux points du quadrillage, se trouve entre -0 dB et +6 dB de la valeur nominale, pour au moins 75 % de tous les points du quadrillage (par exemple si sur les 16 points mesurés d'une UFA de 1,5 m × 1,5 m, au moins 12 points sont à l'intérieur de la tolérance). Pour l'UFA minimale de 0,5 m × 0,5 m, les quatre points de la grille doivent se trouver à l'intérieur de cette tolérance.

NOTE 1 Pour des fréquences différentes, des points de mesure différents peuvent se trouver à l'intérieur de la tolérance.

La tolérance de ${}_{+6}^{-0}$ dB a été choisie pour être sûr que la valeur du champ ne devienne pas inférieure à la valeur nominale avec une probabilité acceptable. La tolérance de 6 dB est considérée, dans la pratique, comme étant le minimum réalisable pour les installations d'essai.

Jusqu'à 1 GHz, une tolérance supérieure à +6 dB pouvant atteindre +10 dB, mais pas inférieure à –0 dB, est autorisée pour 3 % des fréquences d'essai au maximum, étant entendu que la tolérance réelle est indiquée dans le rapport d'essai. En cas de litige, la tolérance de ${}_{+6}^{-0}$ dB a préséance.

Si la surface prévue pour être occupée par la face de l'EST considéré est supérieure à 1,5 m × 1,5 m et si l'on ne peut obtenir une UFA de dimensions suffisantes (méthode préférentielle), alors cette surface peut être illuminée en une série d'essais («illumination partielle»). Soit:

- un étalonnage doit être effectué à différentes positions de l'antenne rayonnante, de telle façon que les UFA combinées couvrent la surface qui sera occupée par la face de l'EST; l'EST doit alors être soumis à l'essai avec l'antenne placée successivement dans chacune de ces positions;
- soit l'EST doit être déplacé à différentes positions, de telle sorte que chacune de ses parties tombe à l'intérieur de l'UFA au cours d'au moins un de ces essais.

NOTE 2 Chacune des positions d'antenne nécessite un étalonnage complet du champ.

Le Tableau 2 ci-dessous démontre les concepts d'illumination totale et d'illumination partielle ainsi que où et comment ils peuvent être appliqués.

Tableau 2 – Exigences pour la zone de champ homogène en vue de l'application de l'illumination totale, de l'illumination partielle et de la méthode des fenêtres indépendantes

Gamme de fréquences	Exigences pour la taille de l'UFA et l'étalonnage quand l'EST s'adapte complètement dans l'UFA (illumination totale: méthode préférentielle)	Exigences pour la taille de l'UFA et l'étalonnage quand l'EST ne s'adapte pas complètement dans l'UFA (illumination partielle et fenêtres indépendantes: méthodes alternatives)
Inférieure à 1 GHz	Taille minimale d'UFA 0,5 m × 0,5 m Taille de l'UFA par pas de quadrillage de 0,5 m (par exemple, 0,5 m × 0,5 m; 0,5 m × 1,0 m; 1,0 m × 1,0 m, etc.) Etalonnage par pas de quadrillage de 0,5 m × 0,5 m 75% des points de l'étalonnage à l'intérieur des spécifications si l'UFA est supérieure à 0,5 m × 0,5 m. 100 % (les 4 points sans exception) doivent être dans la spécification pour des UFA de 0,5 m × 0,5 m.	ILLUMINATION PARTIELLE Taille minimale d'UFA 1,5 m × 1,5 m Taille de l'UFA par pas de quadrillage de 0,5 m (par exemple, 1,5 m × 1,5 m; 1,5 m × 2,0 m; 2,0 m × 2,0 m, etc.) Etalonnage par pas de quadrillage de 0,5 m × 0,5 m 75% des points de l'étalonnage à l'intérieur des spécifications

Tableau 2 (suite)

Gamme de fréquences	Exigences pour la taille de l'UFA et l'étalonnage quand l'EST s'adapte complètement dans l'UFA (illumination totale: méthode préférentielle)	Exigences pour la taille de l'UFA et l'étalonnage quand l'EST ne s'adapte pas complètement dans l'UFA (illumination partielle et fenêtres indépendantes: méthodes alternatives)
Supérieure à 1 GHz	Taille minimale d'UFA 0,5 m × 0,5 m Taille de l'UFA par pas de quadrillage de 0,5 m (par exemple, 0,5 m × 0,5 m; 0,5 m × 1,0 m; 1,0 m × 1,0 m, etc.) Etalonnage par pas de quadrillage de 0,5 m × 0,5 m 75% des points de l'étalonnage à l'intérieur des spécifications si l'UFA est supérieure à 0,5 m × 0,5 m. 100 % (les 4 points sans exception) doivent être dans la spécification pour des UFA de 0,5 m × 0,5 m.	METHODE DES FENÊTRES INDEPENDANTES Fenêtre de 0,5 m × 0,5 m (Voir Annexe H) ILLUMINATION PARTEILLE Fenêtres de 1,5 m × 1,5 m et plus grandes par incréments de 0,5 m (par exemple, 1,5 m × 2,0 m; 2,0 m × 2,0 m, etc.) Etalonnage par pas de quadrillage de 0,5 m × 0,5 m 75% des points de l'étalonnage à l'intérieur des spécifications si l'UFA est supérieure à 0,5 m × 0,5 m. 100 % (les 4 points sans exception) doivent être dans la spécification pour des UFA de 0,5 m × 0,5 m.

Si les exigences de ce paragraphe peuvent être satisfaites seulement jusqu'à une certaine fréquence (supérieure à 1 GHz), par exemple parce que la largeur du faisceau de l'antenne est insuffisante pour illuminer tout l'EST, alors pour des fréquences qui lui sont supérieures, une seconde méthode alternative (connue comme "la méthode des fenêtres indépendantes"), décrite en Annexe H, peut être utilisée.

Généralement, il faut réaliser l'étalonnage du champ dans des chambres anéchoïques et semi-anéchoïques en utilisant le montage d'essai représenté à la Figure 7. L'étalonnage doit toujours être réalisé avec une porteuse non modulée, aussi bien pour la polarisation horizontale que pour la polarisation verticale, en suivant les étapes données ci-dessous. Il faut s'assurer que les amplificateurs peuvent supporter la modulation et ne sont pas saturés au cours des essais. La méthode préférentielle pour assurer que les amplificateurs ne sont pas saturés au cours des essais est d'effectuer l'étalonnage avec une amplitude de champ au moins 1,8 fois supérieure à celle de l'amplitude du champ à appliquer à l'EST. Dénommons cette amplitude du champ d'étalonnage E_c . E_c est la valeur applicable seulement au champ d'étalonnage. L'amplitude du champ d'essai E_t ne doit pas dépasser $E_c/1,8$.

NOTE 3 D'autres méthodes assurant que la saturation est évitée peuvent être utilisées.

Deux méthodes d'étalonnage différentes sont décrites ci-dessous utilisant une UFA de 1,5 m × 1,5 m (16 points de quadrillage) comme exemple. On considère que ces méthodes donnent la même uniformité du champ.

6.2.1 Méthode d'étalonnage à amplitude de champ constante

L'amplitude constante du champ uniforme doit être établie et mesurée, via une sonde de champ étalonnée à chaque fréquence particulière, et en chacun des 16 points l'un après l'autre (voir Figure 4), en utilisant la dimension de pas donnée à l'Article 8, et en ajustant la puissance incidente en conséquence.

La puissance incidente nécessaire pour établir l'amplitude de champ choisie doit être mesurée selon la Figure 7, et doit être enregistrée en dBm pour les 16 points.

Procédure à suivre pour la polarisation horizontale et pour la polarisation verticale

- a) Positionner la sonde de champ à l'un des 16 points de la grille (voir Figure 4), et fixer la fréquence de sortie du générateur de signal à la fréquence la plus basse de la gamme de l'essai (par exemple 80 MHz).
- b) Régler la puissance incidente à l'antenne émettrice de manière à ce que l'amplitude de champ obtenue soit égale à l'amplitude de champ E_c requise. Enregistrer le relevé de la puissance incidente.
- c) Augmenter de 1 % au maximum la fréquence actuelle.
- d) Répéter les étapes b) et c) jusqu'à ce que dans la séquence, la fréquence suivante soit telle qu'elle excéderait la fréquence la plus haute de la gamme de l'essai. Finalement, répéter l'étape b) à cette fréquence la plus haute (par exemple 1 GHz).
- e) Répéter les étapes a) à d) pour chaque point de la grille.

A chaque fréquence:

- f) Classer les 16 relevés de puissance incidente par ordre croissant.
- g) Commencer par la valeur la plus grande, et vérifier si au moins les 11 relevés inférieurs à cette valeur respectent une tolérance de -6 dB à +0 dB par rapport à cette valeur.
- h) S'ils ne respectent pas cette tolérance -6 dB à +0 dB, revenir à la même procédure en partant du relevé immédiatement inférieur, et ainsi de suite (il convient de noter qu'il y a seulement cinq possibilités à chaque fréquence).
- i) Arrêter la procédure quand 12 valeurs au moins se trouvent dans la plage de tolérance de 6 dB, et enregistrer à partir de celles-ci la puissance incidente maximale. Appeler cette puissance incidente P_c .
- j) Confirmer que le système d'essai (par exemple l'amplificateur de puissance) n'est pas en état de saturation. En supposant que E_c a été choisi tel qu'il soit égal à 1,8 fois E_t , effectuer la procédure suivante à chaque fréquence d'étalonnage:
 - j-1) Abaisser la sortie du générateur de signal de 5,1 dB à partir du niveau nécessaire pour établir une puissance incidente P_c , telle que déterminée au cours des étapes précédentes (- 5,1 dB est la même chose que $E_c/1,8$);
 - j-2) Enregistrer la nouvelle puissance incidente fournie à l'antenne;
 - j-3) Soustraire de P_c la puissance incidente mesurée à l'étape j-2. Si la différence se situe entre 3,1 dB et 5,1 dB, alors l'amplificateur n'est pas saturé et le système d'essai est suffisant pour les essais. Si la différence est inférieure à 3,1 dB, alors l'amplificateur est saturé et non adapté aux essais.

NOTE 1 Si à une certaine fréquence, le rapport entre E_c et E_t est $R(\text{dB})$, où $R = 20 \log(E_c/E_t)$, alors la puissance d'essai $P_t = P_c - R(\text{dB})$. Les indices c et t se rapportent respectivement à l'étalonnage et à l'essai. Le champ est modulé conformément à l'Article 8.

La description d'un exemple d'étalonnage est donnée en D.4.1.

NOTE 2 A chaque fréquence, il faut s'assurer que l'amplificateur utilisé n'est pas saturé. La meilleure façon de le faire est de contrôler le point de compression à 1 dB du système. Cependant, le point de compression à 1 dB est assuré par la terminaison 50 Ω , alors que l'impédance à utiliser pour une antenne est différente de 50 Ω . La saturation du système d'essai est assurée en confirmant le point de compression à 2 dB décrit à l'étape j). Pour plus d'information, de référer à l'Annexe D.

6.2.2 Méthode d'étalonnage à puissance constante

L'amplitude du champ uniforme doit être établie et mesurée, via une sonde de champ étalonnée à chaque fréquence particulière, et en chacun des 16 points, l'un après l'autre (voir Figure 4), en utilisant la dimension de pas donnée à l'Article 8, et en ajustant la puissance incidente en conséquence.

La puissance incidente nécessaire pour établir l'amplitude de champ choisie à la position de départ doit être mesurée selon la Figure 7 et notée. La même puissance incidente doit être appliquée pour chacun des 16 points. L'amplitude de champ créée par cette puissance incidente est à enregistrer en chacun des 16 points.

Procédure à suivre à la polarisation horizontale et à la polarisation verticale

- a) Positionner la sonde de champ à l'un des 16 points de la grille (voir Figure 4), et fixer la fréquence de sortie du générateur de signal à la fréquence la plus basse de la gamme de l'essai (par exemple 80 MHz).
- b) Appliquer une puissance incidente à l'antenne émettrice de manière à ce que l'amplitude de champ obtenue soit égale à E_c (en prenant en compte le fait que le champ d'essai sera modulé). Enregistrer les relevés de puissance incidente et d'amplitude du champ.
- c) Augmenter de 1 % au maximum la fréquence actuelle.
- d) Répéter les étapes b) et c) jusqu'à ce que dans la séquence, la fréquence suivante soit telle qu'elle excéderait la fréquence la plus haute de la gamme de l'essai. Finalement, répéter l'étape b) à cette fréquence la plus haute (par exemple 1 GHz).
- e) Déplacer la sonde à une autre position de la grille. A chacune des fréquences utilisées aux étapes a) à d), appliquer la puissance incidente enregistrée à l'étape b) pour cette fréquence, et enregistrer le relevé d'amplitude du champ.
- f) Répéter l'étape e) pour chaque point de la grille.

A chaque fréquence:

- g) Classer les 16 relevés d'amplitude de champ par ordre croissant.
- h) Sélectionner une valeur de champ comme la référence, et calculer l'écart par rapport à cette référence pour toutes les autres positions, en décibels.
- i) Commencer par la valeur de champ la plus petite, et vérifier si au moins les 11 relevés supérieurs se trouvent dans une plage de tolérance de ${}_{+6}^{-0}$ dB par rapport à cette valeur.
- j) S'ils ne se trouvent pas dans la plage de tolérance de ${}_{+6}^{-0}$ dB, revenir à la même procédure en partant du relevé immédiatement supérieur, et ainsi de suite (il convient de noter qu'il y a seulement cinq possibilités à chaque fréquence).
- k) Arrêter la procédure si 12 valeurs au moins se trouvent dans la plage de tolérance de 6 dB, et prendre pour référence la position à partir de laquelle l'amplitude de champ minimale a été obtenue.
- l) Calculer la puissance incidente nécessaire pour créer l'amplitude de champ requise à la position de référence. Appeler cette puissance incidente P_c .
- m) Confirmer que le système d'essai (par exemple l'amplificateur de puissance) n'est pas en état de saturation. En supposant que E_c a été choisi tel qu'il soit égal à 1,8 fois E_t , effectuer la procédure suivante à chaque fréquence d'étalonnage:
 - m-1) Abaisser la sortie du générateur de signal de 5,1 dB à partir du niveau nécessaire pour établir une puissance incidente P_c , telle que déterminée au cours des étapes précédentes (–5,1 dB est la même chose que $E_c/1,8$);
 - m-2) Enregistrer la nouvelle puissance incidente fournie à l'antenne;
 - m-3) Soustraire de P_c la puissance incidente mesurée à l'étape m-2. Si la différence se situe entre 3,1 dB et 5,1 dB, alors l'amplificateur n'est pas saturé et le système d'essai est suffisant pour les essais. Si la différence est inférieure à 3,1 dB, alors l'amplificateur est saturé et non adapté aux essais.

NOTE 1 Si à une certaine fréquence, le rapport entre E_c et E_t est $R(\text{dB})$, où $R = 20 \log(E_c/E_t)$, alors la puissance d'essai $P_t = P_c - R(\text{dB})$. Les indices c et t se rapportent respectivement à l'étalonnage et à l'essai. Le champ est modulé conformément à l'Article 8.

La description d'un exemple d'étalonnage est donnée en D.4.2.

NOTE 2 A chaque fréquence, il faut s'assurer que l'amplificateur utilisé n'est pas saturé. Ceci est fait en contrôlant le point de compression à 1 dB du système. Cependant, le point de compression à 1 dB est assuré par la terminaison 50 Ω , alors que l'impédance à utiliser pour une antenne est différente de 50 Ω . La saturation du système d'essai est assurée en confirmant le point de compression à 2 dB décrit à l'étape m). Pour plus d'information, de référer à l'Annexe D.

7 Montage d'essai

Le matériel doit être essayé dans une configuration aussi proche que possible des conditions d'installation réelles. Le câblage doit être conforme aux recommandations du fabricant et le matériel doit être dans son enveloppe, équipé de tous ses capots et panneaux d'accès, sauf spécification contraire.

Si le matériel est destiné à être monté sur panneau, baie ou armoire, il doit être essayé dans cette configuration.

Il n'est pas nécessaire de disposer d'un plan de sol métallique. Si le matériel à essayer doit être installé sur un support, ce dernier doit être non métallique et non conducteur. Il convient de prendre en considération des matériaux à faible constante diélectrique (faible permittivité), tel que le polystyrène rigide. Toutefois, la mise à la terre de l'enveloppe ou du boîtier du matériel doit être conforme aux recommandations d'installation du fabricant.

Lorsqu'un EST comprend à la fois des éléments posés au sol et sur une table, les positions relatives de ces éléments doivent être conservées.

Les Figures 5 et 6 illustrent des montages typiques d'EST.

NOTE 1 Des supports non conducteurs sont utilisés pour empêcher la mise à la terre accidentelle de l'EST et la distorsion du champ. Pour assurer cette dernière, il convient que le support soit entièrement non conducteur, plutôt que d'être une couche isolante sur une structure métallique

NOTE 2 Aux fréquences supérieures (par exemple au-delà de 1 GHz), les tables ou supports faits en bois ou en plastique renforcé par du verre peuvent être réfléchissants. Aussi, il convient d'utiliser un matériau à faible constante diélectrique (faible permittivité), tel que du polystyrène rigide, pour éviter les perturbations du champ et réduire la dégradation de l'uniformité du champ.

7.1 Installation d'un matériel de table

Le matériel à essayer est placé sur une table en matériau non conducteur de 0,8 m de hauteur.

Le matériel est ensuite connecté aux câbles d'alimentation et de signaux conformément aux instructions d'installation applicables.

7.2 Installation d'un matériel posé au sol

Il convient que le matériel à essayer soit placé sur un support non conducteur de 0,05 m à 0,15 m au-dessus du plan de sol. L'utilisation de supports non conducteurs évite la mise à la masse accidentelle de l'EST et la distorsion du champ. En ce qui concerne ce dernier point, le support doit être entièrement constitué d'un matériau non conducteur plutôt que d'un revêtement isolant sur une structure métallique. Il est éventuellement possible d'installer, sur une plate-forme non conductrice de 0,8 m de hauteur, un matériel destiné à être posé au sol dans la mesure où celui-ci n'est pas trop encombrant ou trop lourd, ou si sa hauteur n'est pas susceptible de nuire à la sécurité. Cette variante de la méthode d'essai normalisée doit être consignée dans le compte rendu d'essai.

NOTE Des roulettes non conductrices peuvent être utilisées comme support de 0,05 m à 0,15 m.

Le matériel est ensuite connecté aux câbles d'alimentation et de signaux conformément aux instructions d'installation applicables.

7.3 Disposition du câblage

Les câbles doivent être raccordés à l'EST et disposés sur le site d'essai conformément aux instructions d'installation du fabricant, et doivent reproduire le mieux possible une installation et un mode d'utilisation typiques.

Les types de câbles et de connecteur spécifiés par le fabricant doivent être utilisés. Si le type de câblage d'entrée et de sortie de l'EST n'est pas spécifié, des conducteurs parallèles non blindés doivent être utilisés.

Si la spécification du fabricant exige un câblage d'une longueur égale ou inférieure à 3 m, la longueur spécifiée doit alors être utilisée. Si la longueur de câble est spécifiée et supérieure à 3 m, ou si elle n'est pas spécifiée, la longueur de câble utilisée doit être choisie conformément aux pratiques typiques d'installations. Si possible, une longueur de câble minimale de 1 m doit être exposée au champ électromagnétique. Les longueurs de câbles excédentaires reliant les unités de l'EST doivent être mises en faisceau faiblement inductif, à peu près en leur centre afin de former un faisceau d'une longueur de 30 cm à 40 cm.

Si un comité de produit détermine que la longueur de câble en excès a besoin d'être découplée (par exemple pour les câbles qui quittent la zone d'essai), alors la méthode de découplage ne doit pas altérer le fonctionnement de l'EST.

7.4 Disposition d'un matériel porté par un corps humain

Un matériel porté par un corps humain (voir Définition 3.13) peut être essayé de la même manière qu'un matériel de table. Toutefois, cela peut entraîner une sévérité d'essai trop forte ou trop faible du fait que les caractéristiques du corps humain ne sont pas prises en compte. Pour cette raison, les comités de produits sont encouragés à spécifier l'utilisation d'un simulateur de corps humain comportant des caractéristiques diélectriques appropriées.

8 Procédure d'essai

La procédure d'essai comprend:

- la vérification des conditions de référence en laboratoire;
- la vérification préliminaire de bon fonctionnement du matériel;
- l'exécution de l'essai;
- l'évaluation des résultats d'essai.

8.1 Conditions de référence en laboratoire

Afin de réduire au minimum l'effet des conditions d'environnement sur les résultats de l'essai, celui-ci doit être réalisé dans les conditions de référence climatiques et électromagnétiques spécifiées en 8.1.1 et 8.1.2.

8.1.1 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 pour les matériels d'essai, par leurs constructeurs respectifs.

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

NOTE Quand on considère qu'il y a suffisamment de preuve pour démontrer que les effets du phénomène couvert par cette norme sont influencés par les conditions climatiques, il convient que ceci soit porté à l'attention du comité responsable de cette norme.

8.1.2 Conditions électromagnétiques

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

8.2 Réalisation de l'essai

L'essai doit être effectué conformément à un plan d'essai qui doit inclure la vérification des performances de l'EST telles qu'elles sont définies dans la spécification technique.

L'EST doit être soumis aux essais dans des conditions normales de fonctionnement.

Le plan d'essai doit spécifier :

- les dimensions de l'EST;
- les conditions de fonctionnement représentatives de l'EST;
- si l'EST doit être essayé comme un matériel de table ou comme un matériel posé au sol, ou une combinaison des deux;
- pour un matériel posé au sol, la hauteur du support;
- le type d'installation d'essai à utiliser et la position des antennes émettrices;
- le type d'antennes à utiliser;
- la gamme des fréquences, le temps de palier et les pas de fréquence;
- les taille et forme de la zone de champ homogène;
- si toute illumination partielle est utilisée;
- le niveau d'essai à appliquer;
- le ou les types et le nombre de câbles d'interconnexion utilisés et les accès (de l'EST) auxquels ils doivent être connectés;
- les critères de performance acceptables;
- une description de la méthode de mise à l'épreuve de l'EST.

Les procédures d'essai décrites dans cet article sont destinées à l'utilisation d'antennes émettrices telles que définies à l'Article 6.

Avant l'essai, il convient de contrôler l'intensité de la valeur du champ pour vérifier que le matériel/système d'essai fonctionne correctement. Après que l'étalonnage a été vérifié, le champ d'essai peut être généré en utilisant les valeurs obtenues lors de l'étalonnage (voir 6.2).

L'EST est initialement disposé avec une face en coïncidence avec le plan d'étalonnage. La face de l'EST devant être illuminée doit être contenue à l'intérieur de l'UFA à moins que l'illumination partielle ne soit appliquée. Voir 6.2 par rapport à l'étalonnage du champ et à l'utilisation de l'illumination partielle.

Les gammes de fréquences à considérer sont balayées avec le signal modulé en amplitude conformément à 5.1 et 5.2, en s'arrêtant pour ajuster le niveau de signal RF, ou pour commuter les oscillateurs et les antennes comme cela est nécessaire. Quand la gamme de fréquences est balayée par incréments, la dimension du pas ne doit pas dépasser 1 % de la valeur de la fréquence précédente.

Le temps de palier à chaque fréquence de la porteuse modulée en amplitude ne doit pas être inférieur au temps nécessaire pour soumettre l'EST à l'essai et le laisser réagir, et ne doit en aucun cas être inférieur à 0,5 s. Les fréquences sensibles (par exemple les fréquences d'horloge) doivent être analysées séparément selon les exigences figurant dans les normes de produits.

L'essai doit être normalement réalisé avec l'antenne émettrice en regard de chaque côté de l'EST. Lorsqu'un matériel peut être utilisé dans des orientations différentes (c'est-à-dire verticale ou horizontale), l'essai doit être effectué sur tous les côtés. Quand cela est techniquement justifié, certains EST peuvent être soumis aux essais en exposant moins de côtés à l'antenne émettrice. Dans d'autres cas, comme cela peut par exemple être déterminé par le type et les dimensions de l'EST, ou par les fréquences d'essai, il peut s'avérer nécessaire d'exposer selon plus de quatre azimuts.

NOTE 1 Dès que les dimensions électriques de l'EST augmentent, la complexité de son diagramme de champ d'antenne augmente aussi. La complexité du diagramme d'antenne peut affecter le nombre d'orientations nécessaires lors de l'essai pour déterminer l'immunité minimale.

NOTE 2 Lorsque l'EST est constitué de plusieurs éléments, il n'est pas nécessaire de modifier la position relative de chacun des éléments lors de l'illumination de ses différents côtés.

La polarisation du champ généré par chaque antenne nécessite d'essayer chaque côté sélectionné deux fois, une fois avec l'antenne positionnée verticalement, et une seconde fois avec l'antenne positionnée horizontalement.

Tous les efforts doivent être faits pour mettre totalement l'EST à l'épreuve afin de vérifier son immunité dans tous les modes de fonctionnement critiques sélectionnés. Il est recommandé d'utiliser des programmes d'essai spéciaux.

9 Evaluation des résultats d'essai

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

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

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

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

10 Rapport d'essai

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

- les points spécifiés dans le plan d'essai requis à l'Article 8 de la présente norme;
- l'identification de l'EST et de tous les matériels associés, par exemple marque, type, numéro de série;

- l'identification des matériels d'essai, par exemple marque, type, numéro de série;
- toutes les conditions d'environnement spéciales dans lesquelles l'essai a été réalisé;
- toutes les conditions spécifiques nécessaires pour permettre la réalisation de l'essai;
- le niveau de fonctionnement défini par le constructeur, le demandeur de l'essai ou l'acheteur;
- le critère d'aptitude à la fonction spécifié dans la norme générique, de produit ou de famille de produits;
- tous les effets observés sur l'EST pendant ou après l'application de la perturbation, et la durée pendant laquelle ces effets ont persisté;
- la justification de la décision succès/échec (basée sur le critère d'aptitude à la fonction spécifié dans la norme générique, de produit ou de famille de produits, ou résultant de l'accord entre le constructeur et l'acheteur);
- toutes les conditions spécifiques d'utilisation, par exemple longueur ou type de câble, blindage ou raccordement à la terre, ou les conditions de fonctionnement de l'EST, qui sont requises pour assurer la conformité;
- une description complète du câblage et des position et orientation du matériel doivent figurer dans le rapport d'essai; dans certains cas, une photo suffit pour cela.

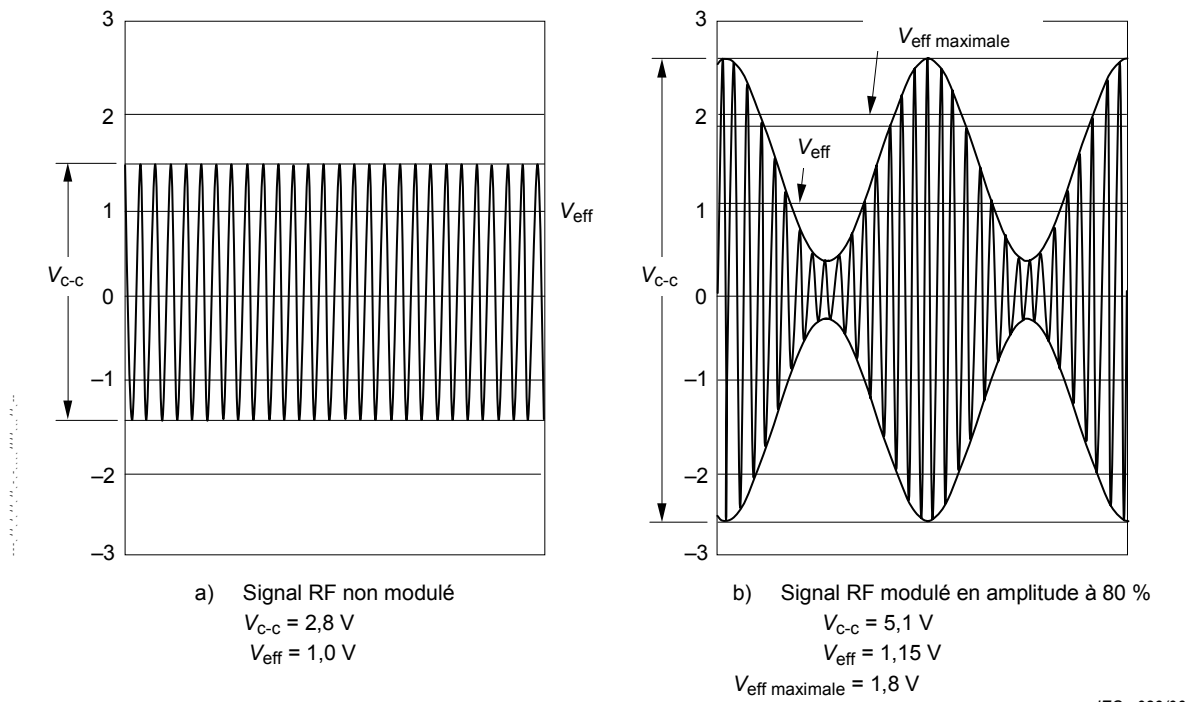
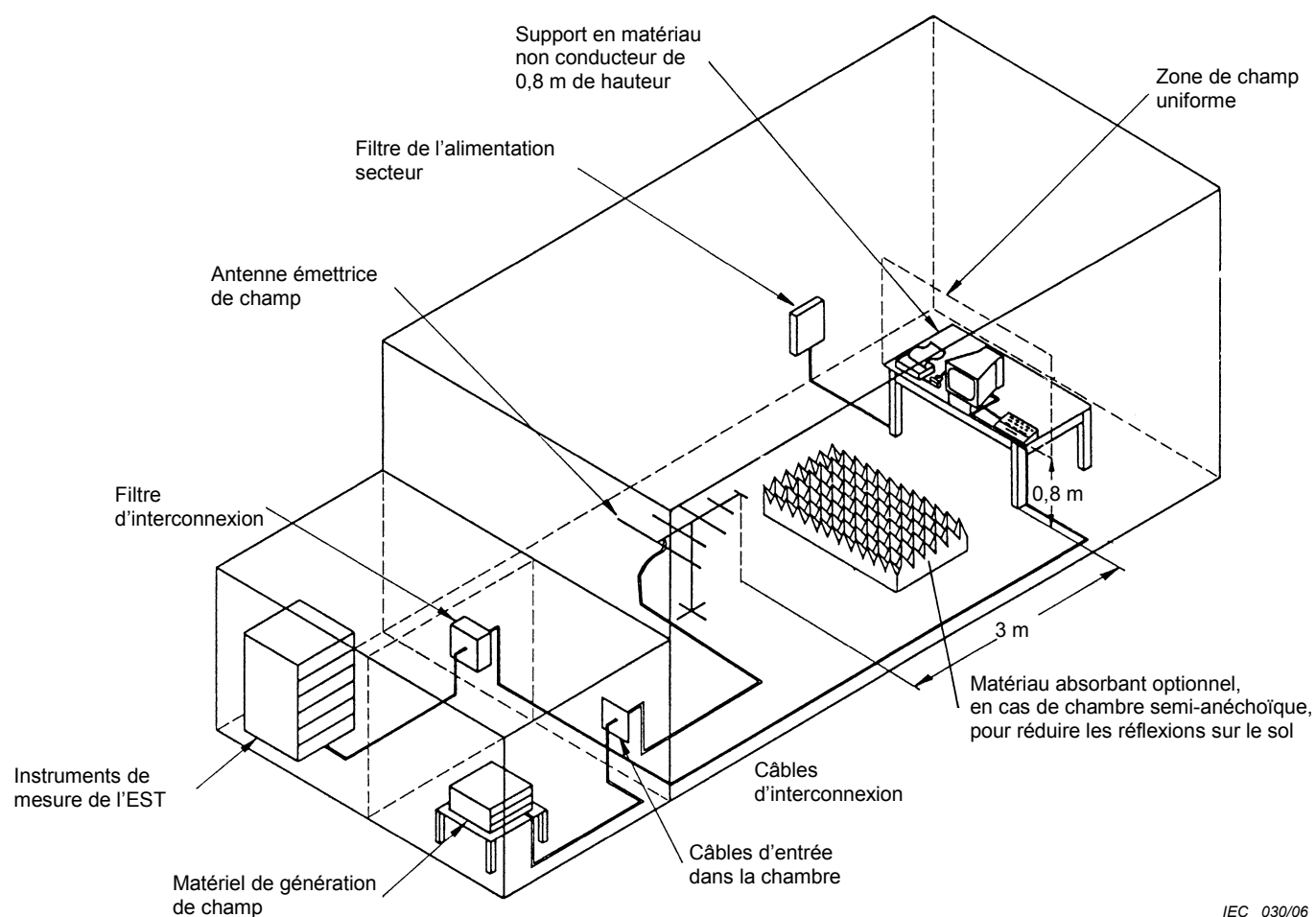


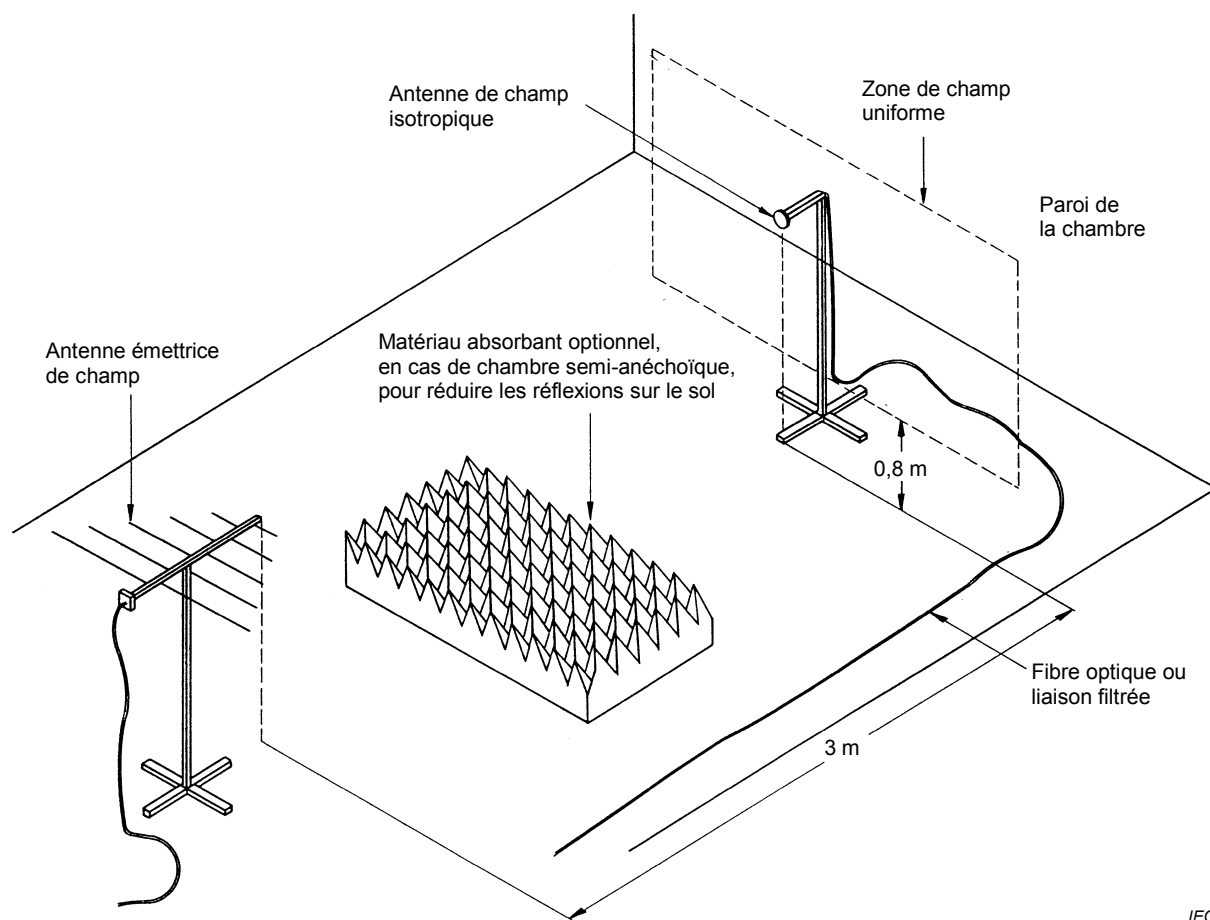
Figure 1 – Définition du niveau d'essai et des formes d'onde apparaissant à la sortie du générateur de signaux



IEC 030/06

NOTE Pour plus de clarté, le revêtement anéchoïque des parois et du plafond a été omis.

Figure 2 – Exemple d'installation d'essai



IEC 031/06

Figure 3 – Etalonnage du champ

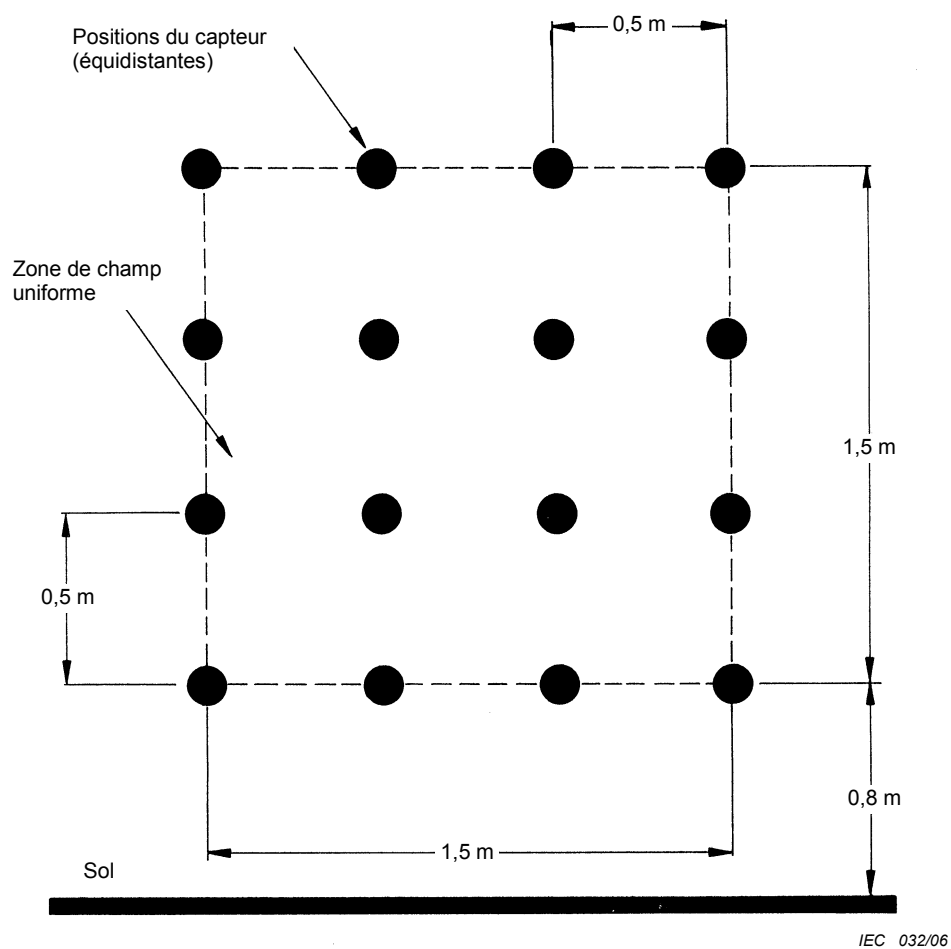
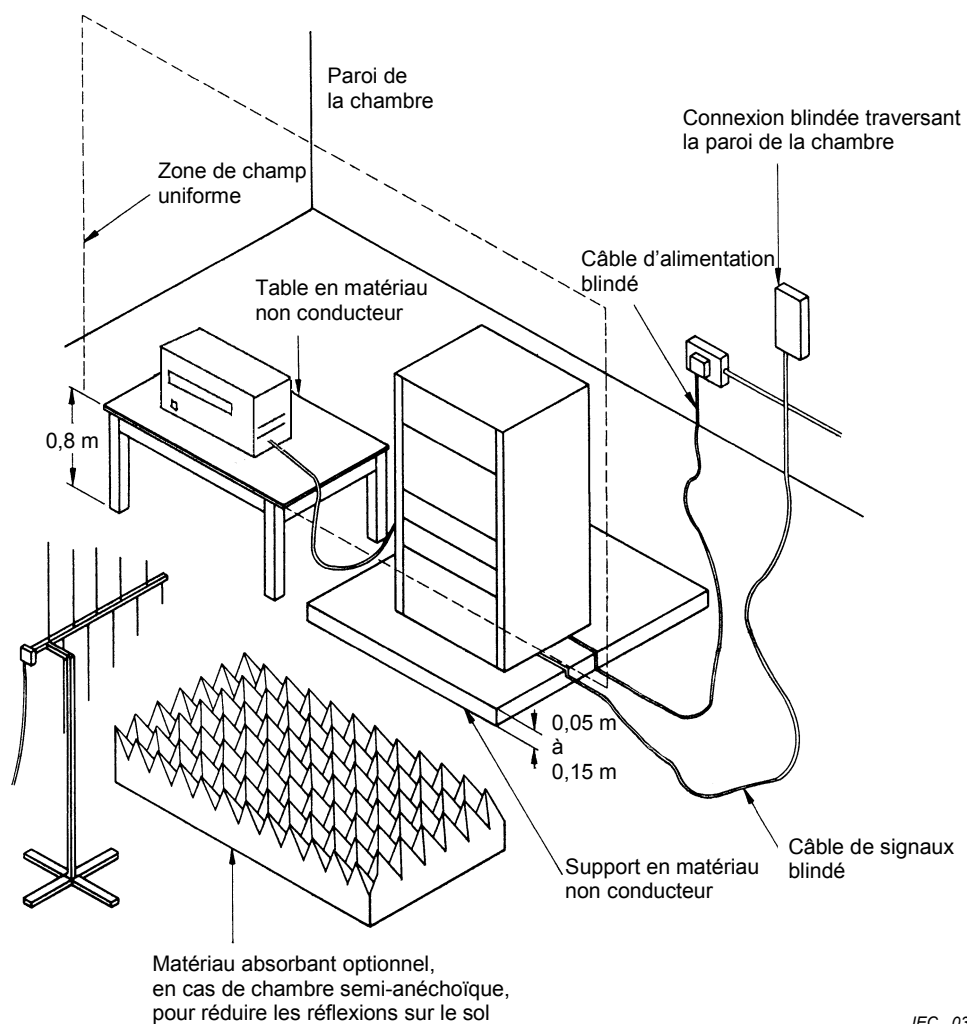


Figure 4 – Etalonnage du champ, dimensions de la zone de champ uniforme

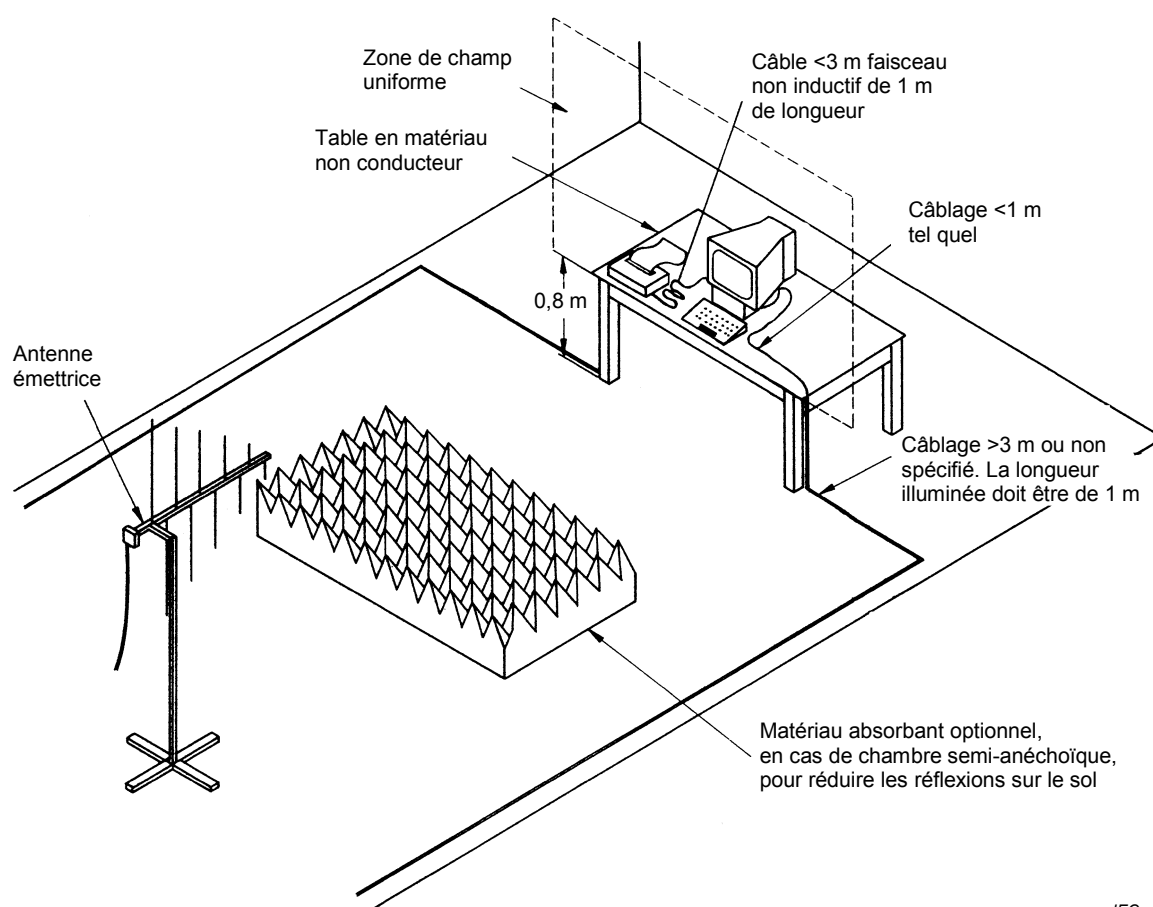
Document communiqué en vertu de la Loi sur l'accès à l'information.



IEC 033/06

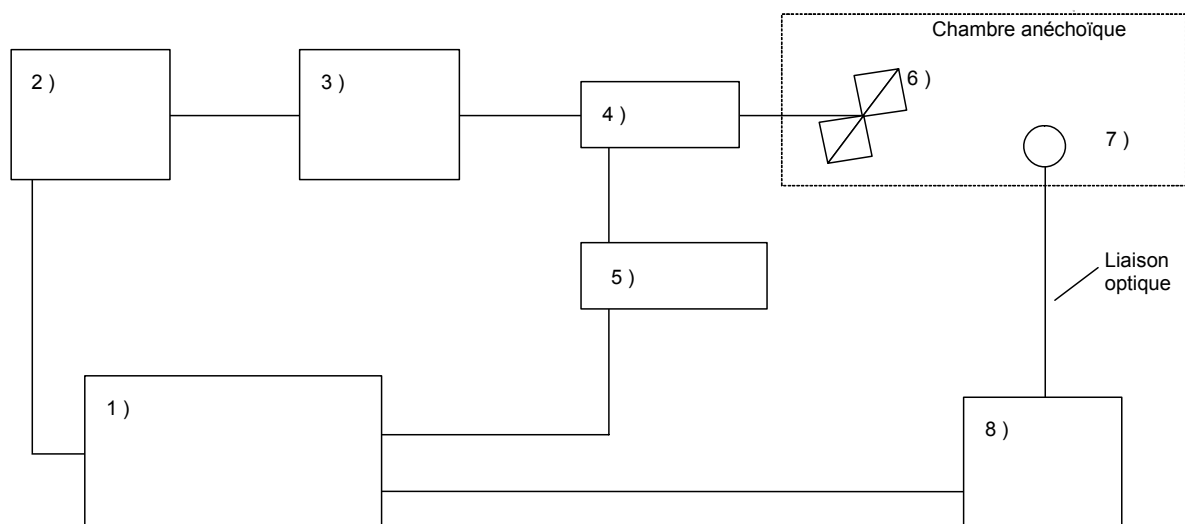
NOTE Pour plus de clarté, le revêtement anéchoïque des parois a été omis.

Figure 5 – Exemple de montage d'essai pour un matériel posé au sol



IEC 034/06

Figure 6 – Exemple de montage d'essai pour un matériel de table



IEC 035/06

Légende

- 1) Contrôleur, par exemple PC
- 2) Générateur de signal
- 3) Amplificateur de puissance
- 4) Coupleur directif ^a
- 5) Instrument de mesure ^a
- 6) Antenne émettrice
- 7) Sonde de champ
- 8) Mesureur de champ

^a Le coupleur directif et le mesureur de puissance peuvent être remplacés par un détecteur de la puissance incidente ou un dispositif de surveillance disposé entre l'amplificateur (3) et l'antenne (6).

Figure 7 – Dispositif de mesure

Annexe A (informative)

Justification du choix de la modulation pour les essais relatifs à la protection contre les émissions aux fréquences radioélectriques des radiotéléphones numériques

A.1 Résumé des méthodes de modulation disponibles

La menace essentielle au-dessus de 800 MHz est constituée par les radiotéléphones numériques qui utilisent une modulation à enveloppe non constante. Durant l'élaboration de la présente norme, les méthodes de modulation du champ électromagnétique suivantes ont été considérées:

- modulation d'amplitude sinusoïdale à 80 % à la fréquence de 1 kHz;
- modulation d'amplitude carrée, rapport cyclique de 1:2, modulation à 100 % à la fréquence de 200 Hz;
- signal à fréquence radioélectrique modulé en impulsion représentant approximativement les caractéristiques de chaque système, par exemple rapport cyclique de 1:8 à 200 Hz pour le GSM, rapport cyclique de 1:24 à 100 Hz pour les portables DECT, etc. (voir l'Annexe G pour les définitions du GSM et du DECT);
- signal à fréquence radioélectrique modulé en impulsion représentant exactement les caractéristiques de chaque système, par exemple pour le GSM: rapport cyclique de 1:8 à 200 Hz ainsi que des caractéristiques secondaires telles que le mode de transmission discontinue (fréquence de modulation de 2 Hz) et l'effet de la présence de plusieurs trames (composante à la fréquence de 8 Hz).

L'intérêt des systèmes respectifs est résumé au Tableau A.1.

Tableau A.1 – Comparaison des méthodes de modulation

(voir Annexe G pour les définitions du GSM et du DECT)

Méthode de modulation	Avantages	Inconvénients
Modulation d'amplitude sinusoïdale	1 L'expérimentation a montré qu'une bonne corrélation peut être établie entre les effets perturbateurs de différents types de modulations à enveloppe non constante, tant que les niveaux maximaux en valeur efficace restent les mêmes. 2 Il n'est pas nécessaire de spécifier (ni de mesurer) le temps de montée de l'impulsion AMRT. 3 Utilisée dans la présente norme et dans la CEI 61000-4-6. 4 Les matériels de génération et de contrôle du champ sont déjà disponibles. 5 Pour les matériels audioanalogiques, la démodulation dans le matériel soumis à l'essai produit une réponse audio qui peut être mesurée avec un récepteur à bande étroite, ce qui réduit le bruit de fond. 6 A déjà montré son efficacité pour simuler l'effet d'autres types de modulations (par exemple modulation de fréquence, de phase, impulsionnelle) à des fréquences plus basses.	1 Ne simule pas l'AMRT. 2 Essai légèrement plus pénalisant pour les récepteurs à loi du second ordre. 3 Peut ne pas voir certains mécanismes de défaillance.
Modulation d'amplitude carrée	1 Similaire à l'AMRT. 2 Peut être utilisée universellement. 3 Peut révéler des mécanismes de défaillances «inconnus» (sensibilité à une forte variation de l'enveloppe RF).	1 Ne simule pas exactement l'AMRT. 2 Nécessite un équipement non classique pour générer le signal. 3 La démodulation dans le matériel soumis à l'essai produit une réponse audio large bande qui doit être mesurée avec un récepteur large bande, ce qui augmente le bruit de fond. 4 Nécessité de spécifier le temps de montée.
Modulation en impulsion	1 Bonne simulation de l'AMRT. 2 Peut révéler des mécanismes de défaillances «inconnus» (sensibilité à une forte variation de l'enveloppe RF).	1 Nécessite un équipement non classique pour générer le signal. 2 Les détails de la modulation nécessitent d'être modifiés pour correspondre à chaque système (par exemple GSM, DECT...). 3 La démodulation dans le matériel soumis à l'essai produit une réponse audio large bande qui doit être mesurée avec un récepteur large bande, ce qui augmente le bruit de fond. 4 Nécessité de spécifier le temps de montée.

A.2 Résultats expérimentaux

Une série d'expérimentations a été effectuée pour évaluer la corrélation entre la méthode de modulation du signal perturbateur utilisée et le brouillage produit.

Les méthodes de modulation étudiées étaient les suivantes:

- a) modulation d'amplitude sinusoïdale à 80 % à la fréquence de 1 kHz;
- b) impulsions radioélectriques «GSM», rapport cyclique de 1:8 à 200 Hz;
- c) impulsions radioélectriques «DECT», rapport cyclique de 1:2 à 100 Hz (station de base);
- d) impulsions radioélectriques «DECT», rapport cyclique de 1:24 à 100 Hz (portable).

Une seule des modulations «DECT» a été utilisée dans chaque cas.

Les résultats sont résumés dans les Tableaux A.2 et A.3.

Tableau A.2 – Niveaux de brouillage relatifs ^a

Méthode de modulation ^b		Modulation d'amplitude sinusoïdale à 80 % à 1 kHz	«GSM», rapport cyclique 1:8 à 200 Hz	«DECT», rapport cyclique 1:24 à 100 Hz
↓ Matériel	↓ Réponse audio	dB	dB	dB
Aide auditive ^c	Non pondérée 21 Hz – 21 kHz	0 ^d	0	–3
	Pondérée, loi en A	0	–4	–7
Poste téléphonique analogique ^e	Non pondérée	0 ^d	–3	–7
	Pondérée, loi en A	–1	–6	–8
Récepteur radio ^f	Non pondérée	0 ^d	+1	–2
	Pondérée, loi en A	–1	–3	–7

^a La réponse audio à la perturbation est le niveau de brouillage. Un niveau de brouillage faible représente un niveau d'immunité élevé.

^b Important: l'amplitude de la porteuse est ajustée de telle façon que la valeur efficace maximale (voir Article 3) du signal perturbateur (perturbation) soit la même pour toutes les modulations.

^c La perturbation est produite par un champ électromagnétique incident à 900 MHz. Le rapport cyclique pour la modulation «DECT» est de 1:2 au lieu de 1:24. La réponse audio est la sortie acoustique mesurée avec une oreille artificielle reliée à l'aide d'un tube de 0,5 m en PVC.

^d Ce cas est pris comme étant la réponse audio de référence, c'est-à-dire 0 dB.

^e La perturbation est un courant à fréquence radioélectrique injecté dans le câble téléphonique à 900 MHz. La réponse audio est la tension à la fréquence audio mesurée sur la ligne téléphonique.

^f La perturbation est un courant à fréquence radioélectrique injecté dans le câble d'alimentation à 900 MHz. La réponse audio est la sortie audio du haut-parleur mesurée avec un microphone.

Tableau A.3 – Niveaux d'immunité relatifs ^a

Méthode de modulation ^b		Modulation d'amplitude sinusoïdale à 80 % à 1 kHz	«GSM», rapport cyclique 1:8 à 200 Hz	«DECT», rapport cyclique 1:24 à 100 Hz
↓ Matériel	↓ Réponse	dB	dB	dB
Récepteur TV ^c	Interférence détectable	0 ^d	–2	–2
	Brouillage important	+4	+1	+2
	Ecran éteint	~+19	+18	+19
Terminal de données avec une interface RS232 ^e	Brouillage sur l'écran vidéo	0 ^d	0	–
	Erreurs de données	> +16	> +16	–
Modem RS232 ^f	Erreurs de données (injectées sur l'interface téléphone)	0 ^d	0	0
	Erreurs de données (injectées sur l'interface RS232)	> +9	> +9	> +9
Alimentation stabilisée de laboratoire ^g	Erreur de 2 % du courant continu de sortie	0 ^d	+3	+7
Boîtier de connexion HNS ^h	Seuil d'apparition d'erreurs binaires	0 ^d	0	–

^a Les nombres du tableau représentent une mesure relative du niveau efficace maximal (voir Article 3) du signal perturbateur (perturbation) nécessaire pour produire le même niveau de brouillage avec toutes les modulations. Un niveau en décibels élevé représente un niveau d'immunité élevé.
^b Le signal perturbateur est réglé de telle façon que la même réponse (brouillage) soit produite par toutes les modulations.
^c La perturbation est un courant à fréquence radioélectrique injecté dans le câble d'alimentation à 900 MHz. La réponse est le niveau de brouillage de l'écran. L'évaluation est assez subjective car la forme du brouillage diffère selon le cas.
^d Ce cas est pris comme étant le niveau d'immunité de référence, c'est-à-dire 0 dB.
^e La perturbation est un courant à fréquence radioélectrique à 900 MHz injecté dans le câble RS232.
^f La perturbation est un courant à fréquence radioélectrique à 900 MHz injecté soit dans le téléphone soit dans le câble RS232.
^g La perturbation est un courant à fréquence radioélectrique à 900 MHz injecté dans le câble de sortie continue.
^h HNS = hiérarchie numérique synchrone. La perturbation est un champ électromagnétique incident à 935 MHz.

Les matériels numériques suivants ont été essayés avec la modulation d'amplitude sinusoïdale et avec la modulation en impulsion (rapport cyclique 1:2) à des niveaux de champ atteignant 30 V/m:

- sèche-mains commandé par un microprocesseur;
- modem 2 Mb avec un câble coaxial de 75 Ω;
- modem 2 Mb avec un câble à paire torsadée de 120 Ω;
- contrôleur industriel avec microprocesseur, afficheur vidéo et interface RS485;
- système d'affichage des trains avec microprocesseur;
- terminal pour carte de crédit avec une sortie modem;
- multiplexeur numérique 2/34 Mb;
- répéteur ethernet (10 Mb/s).

Toutes les défaillances étaient associées aux fonctions analogiques de ces dispositifs.

A.3 Effets de la modulation secondaire

Lorsque l'on essaie de simuler exactement la modulation utilisée dans un système de radiotéléphonie numérique, il est important non seulement de simuler la modulation primaire mais également de considérer l'influence de toute modulation secondaire qui peut être présente.

Par exemple, avec le GSM et le DCS 1800, il y a des effets résultant de la présence de plusieurs trames et causés par la suppression d'une impulsion toutes les 120 ms (créant ainsi une composante à la fréquence approximative de 8 Hz). Il peut aussi y avoir une modulation supplémentaire à 2 Hz provenant du mode de transmission discontinue (DTX) optionnel.

A.4 Conclusion

On peut voir à partir des exemples étudiés que les matériels essayés ont répondu aux perturbations indépendamment de la méthode de modulation utilisée. Lorsque l'on compare les effets de différentes modulations, il est important de s'assurer que le même niveau efficace maximal du signal perturbateur est utilisé.

Lorsque des différences significatives sont apparues entre les effets des différents types de modulation, la modulation d'amplitude sinusoïdale a toujours été la plus pénalisante.

Lorsque des différences de réponse sont observées entre la modulation d'amplitude sinusoïdale et l'AMRT, la différence spécifique à chaque produit peut être corrigée par un ajustement approprié du critère de conformité donné dans la norme de produit.

En résumé, la modulation d'amplitude sinusoïdale présente les avantages suivants:

- détection en bande étroite de la réponse des systèmes analogiques, ce qui diminue les problèmes de bruit de fond;
- applicabilité universelle puisque l'on ne tente pas de simuler le comportement de la source de perturbation;
- même modulation à toutes les fréquences;
- toujours au moins aussi sévère que la modulation en impulsion.

Pour les raisons données ci-dessus, la méthode de modulation définie dans cette norme est la modulation d'amplitude sinusoïdale à 80 %. Il est recommandé que les comités de produits ne modifient la méthode de modulation qu'en cas de raisons particulières nécessitant l'emploi d'un type de modulation différent.

Annexe B (informative)

Antennes émettrices

B.1 Antenne biconique

Cette antenne, qui se compose d'un symétriseur d'antenne enroulé coaxialement et d'un élément tridimensionnel fournissant une large gamme de fréquences, est utilisable à la fois pour l'émission et pour la réception. La courbe du facteur d'antenne est une courbe assez lisse augmentant avec la fréquence.

Grâce à leur encombrement réduit ces antennes sont particulièrement bien adaptées aux zones exiguës telles que les chambres anéchoïques, puisque les effets de proximité sont réduits.

B.2 Antenne log-périodique (80 MHz – 1 000 MHz)

Une antenne log-périodique est composée d'un ensemble de dipôles de différentes longueurs reliés à une ligne de transmission.

Ces antennes à large bande présentent un gain relativement élevé et un taux d'ondes stationnaires (TOS) faible.

Avant de choisir une antenne pour la génération de champs, il convient de s'assurer que le symétriseur peut supporter la puissance nécessaire.

B.3 Antenne cornet et antenne guide d'ondes à double moulure

Les antennes cornets et les antennes guides d'ondes à double moulure produisent des champs électromagnétiques à polarisation linéaire. Typiquement, elles sont utilisées à des fréquences supérieures à 1 000 MHz.

Annexe C **(informative)**

Utilisation de chambres anéchoïques

C.1 Information générale sur les chambres anéchoïques

Une chambre semi-anéchoïque est une enceinte fermée munie de matériau radio absorbant sur les parois et au plafond. Les chambres anéchoïques possèdent également un tel revêtement sur le sol.

Le but de ce revêtement est d'absorber l'énergie RF, en empêchant les réflexions vers l'intérieur de la chambre. De telles réflexions, en interférant de manière complexe avec le champ rayonné direct, peuvent produire des ventres et des nœuds dans l'intensité du champ généré.

Les pertes par réflexion du matériau absorbant dépendent généralement de la fréquence de l'onde incidente, et de son angle par rapport à la normale. Les pertes (par absorption) sont généralement les plus grandes sous incidence normale, et diminuent quand l'angle d'incidence augmente.

Afin de casser les réflexions et de renforcer l'absorption, le matériau absorbant est souvent façonné en forme de coins ou de cônes.

Pour les chambres semi-anéchoïques, leur modification par adjonction de matériau absorbant RF supplémentaire sur le sol aide à l'obtention de l'uniformité de champ requise à toutes les fréquences. Pour cela, l'expérimentation va définir les matériaux et leurs positions.

Il convient de ne pas disposer le matériau absorbant additionnel dans le trajet d'illumination directe de l'antenne vers l'EST mais, pour l'essai, de le positionner à un endroit et dans une orientation identiques à ceux utilisés au cours de la procédure d'étalonnage.

L'uniformité peut aussi être améliorée en plaçant l'antenne émettrice en dehors de l'axe de la chambre, de telle sorte que les réflexions ne soient pas symétriques.

Les chambres anéchoïques sont moins efficaces aux fréquences basses (en dessous de 30 MHz), alors que les chambres recouvertes de ferrites peuvent aussi être moins efficaces aux fréquences supérieures à 1 GHz. Il faut prendre les mesures pour assurer l'uniformité du champ généré aux fréquences les plus faibles et aux fréquences les plus élevées, et il peut être nécessaire de reprendre la chambre.

C.2 Adaptations proposées pour des chambres recouvertes de ferrite et conçues pour une utilisation jusqu'à des fréquences de 1 GHz, afin de les adapter à des fréquences supérieures à 1 GHz

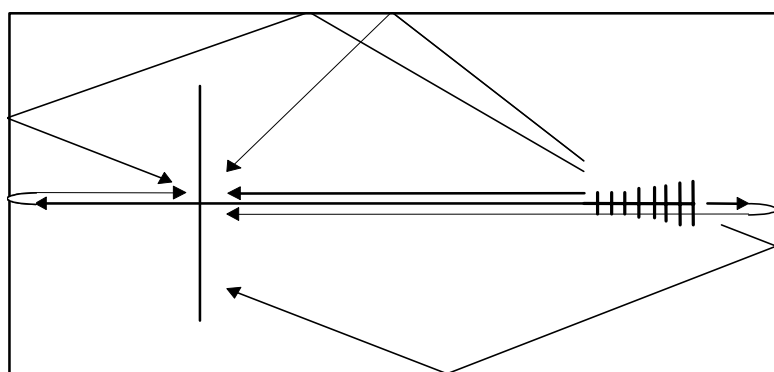
La plupart des petites chambres anéchoïques existantes qui utilisent la ferrite comme absorbant sont conçues pour une utilisation jusqu'à 1 GHz. A des fréquences supérieures à 1 GHz, il peut être difficile ou impossible pour de telles chambres de satisfaire à l'exigence d'homogénéité du champ indiqué en 6.2 de cette norme.

Ce paragraphe présente l'information concernant les procédures nécessaires pour adapter de telles chambres aux essais aux fréquences supérieures à 1 GHz, en utilisant la méthode décrite dans l'Annexe H.

C.2.1 Problèmes d'utilisation des chambres recouvertes de ferrite pour les essais d'immunité au champ rayonné à des fréquences supérieures à 1 GHz

Le problème décrit peut par exemple se produire dans une petite chambre anéchoïque recouverte de ferrite, ou dans une petite (en règle générale 7 m (L) $\times$ 3 m (I) $\times$ 3 m (h)) chambre anéchoïque recouverte d'une association de ferrites et d'absorbants chargés au carbone.

Aux fréquences supérieures à 1 GHz, les tuiles de ferrite se comportent habituellement comme des réflecteurs plutôt que comme des absorbants. Il est très difficile d'établir un champ uniforme sur une surface de 1,5 m $\times$ 1,5 m à ces fréquences du fait des réflexions multiples sur les surfaces internes de la chambre (voir Figure C.1).



IEC 036/06

Figure C.1 – Réflexions multiples dans une petite chambre anéchoïque existante

Aux fréquences des bandes radio téléphoniques, la longueur d'onde est inférieure à 0,2 m. Cela signifie que les résultats d'essais sont très sensibles au positionnement de l'antenne génératrice de champ et du détecteur de champ, ou de l'EST.

C.2.2 Solution possible

Afin de résoudre les problèmes existants, les procédures suivantes sont proposées.

- Utiliser une antenne cornet ou une antenne en guide d'onde à double cannelure pour réduire le champ rayonné vers l'arrière. Cela permet également de diminuer les réflexions sur les parois latérales de la chambre, du fait de la largeur étroite du faisceau de l'antenne.
- Raccourcir la distance entre l'antenne émettrice et l'EST afin de minimiser les réflexions sur les parois latérales (la distance entre l'antenne et l'EST peut être réduite à 1 m). Utiliser la méthode des fenêtres de 0,5 m $\times$ 0,5 m indépendantes (Annexe H) pour assurer que l'EST est exposé à un champ uniforme.
- Fixer du matériau anéchoïque de type carbone moyennement chargé au mur arrière, et faisant face à l'EST pour éliminer la réflexion directe. Ceci réduit la sensibilité de l'essai au positionnement de l'EST et de l'antenne. Cela peut également améliorer l'uniformité du champ aux fréquences inférieures à 1 GHz.

NOTE Si un matériau anéchoïque de type carbone fortement chargé est utilisé, il peut être difficile de satisfaire à l'exigence d'uniformité du champ aux fréquences inférieures à 1 GHz.

La plupart des ondes réfléchies seront éliminées en suivant les procédures ci-dessus (voir Figure C.2).

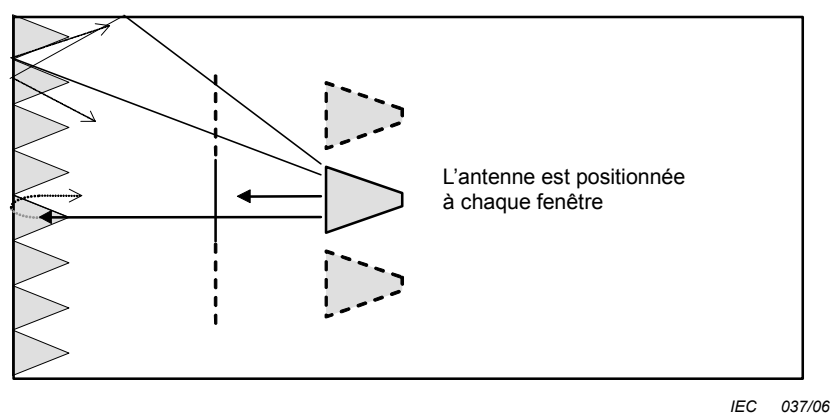


Figure C.2 – La plupart des ondes réfléchies sont éliminées

Annexe D (informative)

Non-linéarité de l'amplificateur et exemple de procédure d'étalonnage selon 6.2

D.1 Objectif de la limitation de la distorsion de l'amplificateur

Le but est de conserver la non-linéarité de l'amplificateur à un niveau suffisamment bas pour qu'elle ne soit pas prépondérante sur l'incertitude de la valeur de l'amplitude du champ. Par conséquent, des lignes directrices sont données pour aider les laboratoires d'essais à comprendre et à limiter les effets de la saturation des amplificateurs.

D.2 Problèmes causés par les harmoniques et la saturation

Surcharger l'amplificateur peut conduire à différents scénarios.

- a) Les harmoniques peuvent contribuer significativement au champ.
 - 1) Si ceci apparaît au cours de l'étalonnage, l'amplitude du champ à la fréquence prévue est incorrectement mesurée, du fait que la sonde de champ large bande mesurera le fondamental et ses harmoniques. Par exemple, considérons que le troisième harmonique est de 15 dB inférieur à la fréquence fondamentale au niveau de la prise de l'antenne, et que les autres harmoniques peuvent être ignorés. De plus, considérons que le facteur d'antenne effectif est, à la fréquence du troisième harmonique, de 5 dB inférieur sa valeur à la fréquence fondamentale. L'amplitude de champ à la fréquence fondamentale sera seulement de 10 dB supérieure à celle qui est enregistrée au troisième harmonique. Si une amplitude totale de champ de 10 V/m est mesurée, la fréquence fondamentale contribuera à 9,5 V/m. Ceci est une erreur acceptable, du fait qu'elle est plus petite que l'incertitude sur l'amplitude de la sonde de champ.
 - 2) Si les harmoniques sont présents de manière significative au cours de l'essai, ils peuvent entraîner une défaillance de l'EST bien que ce dernier soit résistant à la fréquence fondamentale voulue, mais pas à la fréquence harmonique.
- b) Dans des situations particulières, les harmoniques peuvent également affecter le résultat d'essai, même s'ils sont très bien supprimés. Par exemple si un récepteur à 900 MHz est essayé, même des harmoniques très faibles d'un signal à 300 MHz peuvent surcharger l'entrée du récepteur. Un scénario similaire peut aussi survenir si le générateur de signal délivre des signaux non harmoniquement liés (parasites).
- c) La saturation peut être présente sans harmoniques mesurables. Ceci arrive si l'amplificateur a un filtre passe-bas en sortie qui supprime les harmoniques. Cette situation peut aussi conduire à des résultats incorrects.
 - 1) Si ceci se produit au cours de l'étalonnage, de fausses données d'étalonnage seront déduites du fait que l'hypothèse de linéarité est adoptée dans l'algorithme décrit en 6.2.
 - 2) Au cours d'un essai, ce type de saturation conduira à un indice de modulation incorrect et à des harmoniques de la fréquence de modulation (habituellement 1 000 Hz).

A partir des exemples donnés plus haut, il est clair qu'une limite numérique de la distorsion de l'amplificateur ne peut pas être donnée, du fait que l'effet de la distorsion dépend fortement du type d'EST essayé.

D.3 Options pour le contrôle de la non-linéarité de l'amplificateur

D.3.1 Limitation du contenu harmonique du champ

Le contenu harmonique du champ peut être limité grâce à l'utilisation d'un filtre passe-bas ajustable en sortie de l'amplificateur.

Pour toutes les fréquences où les harmoniques sont produits en sortie de l'amplificateur, la réjection de ces harmoniques dans le champ de plus de 6 dB sous le fondamental est adéquate, à l'exception du scénario discuté en D.2 b).

Ceci limiterait l'erreur d'amplitude du champ à 10 %. Par exemple, un signal de 10 V/m mesuré sur une large bande serait engendré par un fondamental de 9 V/m et des harmoniques de 4,5 V/m. Ceci est une situation acceptable pour l'incertitude d'étalonnage.

Pour les amplificateurs possédant un filtre passe-bas en sortie, la plus haute fréquence fondamentale concernée est environ égale à 1/3 de la fréquence maximale spécifiée de l'amplificateur.

D.3.2 Mesure du contenu harmonique du champ

Le contenu harmonique du champ peut être mesuré soit directement en utilisant une sonde de champ sélective, soit indirectement en déterminant

- d'abord le facteur d'antenne effectif (le rapport entre puissance d'entrée et amplitude du champ pour une chambre donnée et une position d'antenne) et ensuite le rapport entre les puissances incidentes à la fréquence fondamentale et aux harmoniques, ou
- avec un coupleur en tenant compte du facteur d'antenne aux harmoniques fourni par le fabricant de l'antenne.

Pour les situations dans lesquelles un filtre passe-bas supprime les harmoniques d'un amplificateur saturé, il est suggéré de ne dépasser, en aucune circonstance (par exemple fréquence la plus mauvaise, amplitude maximale de champ avec modulation), le point de compression à 2 dB de l'amplificateur. Au point de compression à 2 dB l'amplitude crête (en tension) serait réduite de 20 %. Ceci entraînerait une réduction de l'indice de modulation de 80 % à 64 %, c'est-à-dire une réduction de 20 % d'une tension redressée à l'intérieur de l'EST.

D.4 Exemples montrant l'équivalence des deux méthodes d'étalonnage

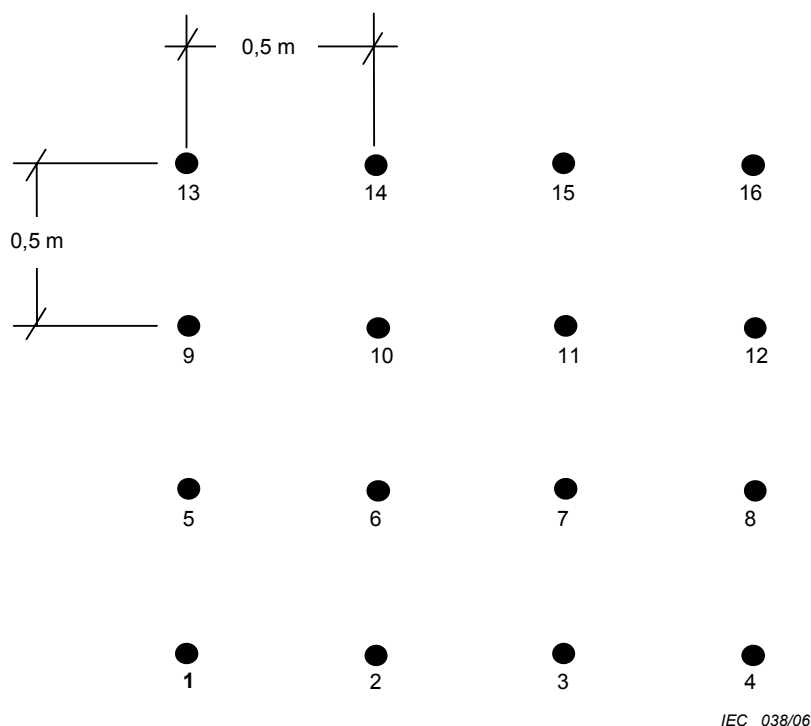


Figure D.1 – Positions de mesure de la surface uniforme

La Figure D.1 montre les 16 positions où l'uniformité du champ doit être mesurée. La distance entre chacun des 16 points a été fixée à 0,5 m.

D.4.1 Exemple de procédure d'étalonnage utilisant la méthode d'étalonnage à amplitude de champ constante telle qu'elle est décrite en 6.2.1

Pour créer une amplitude de champ constante de $E_c = 6 \text{ V/m}$ (à titre d'exemple), les valeurs de puissance incidentes suivantes présentées dans le Tableau D.1 ont été mesurées à une fréquence particulière, en utilisant le dispositif de mesure représenté à la Figure 7.

Tableau D.1 – Valeurs de puissance incidente mesurées suivant la méthode d'étalonnage à amplitude de champ constante

Position	Puissance incidente dBm
1	27
2	22
3	37
4	33
5	31
6	29
7	23
8	27
9	28
10	30
11	30
12	31
13	40
14	30
15	31
16	31

Tableau D.2 – Valeurs de puissance incidente classées par ordre croissant et évaluation du résultat de mesure

Position	Puissance incidente dBm
2	22
7	23
1	27
8	27
9	28
6	29
10	30
11	30
14	30
5	31
12	31
15	31
16	31
4	33
3	37
13	40

NOTE
 Position 13: $40 - 6 = 34$, seules 2 positions conviennent.
 Position 3: $37 - 6 = 31$, seules 6 positions conviennent.
 Position 4: $33 - 6 = 27$, 12 positions conviennent.

Dans cet exemple les points de mesure 2, 3, 7 et 13 s'étendent à l'extérieur du critère ${}_{+6}^{-0}$ dB mais au moins (précisément dans cet exemple) 12 des 16 points sont compris dans le critère. Ainsi à cette fréquence particulière, le critère est rempli. Dans ce cas la puissance incidente à appliquer est 33 dBm. Ceci garantit que pour les 12 points l'amplitude de champ E_c vaut au moins 6 V/m (position 4) et au maximum 12 V/m (positions 1 et 8).

D.4.2 Exemple de procédure d'étalonnage utilisant la méthode à puissance constante telle qu'elle est décrite en 6.2.2

Le point n° 1 a été choisi comme premier point d'étalonnage, où une amplitude de champ cible E_c de 6 V/m a été produite. Pour la même puissance incidente, les amplitudes de champ suivantes données au Tableau D.3 ont été enregistrées à une fréquence particulière, en utilisant le dispositif de mesure selon la Figure 7.

Tableau D.3 – Valeurs de puissance incidente et d'amplitude de champ mesurées selon la méthode d'étalonnage à puissance constante

Position	Puissance incidente dBm	Amplitude de champ V/m	Amplitude de champ dB relatif à la position 1
1	27	6,0	0
2	27	10,7	5
3	27	1,9	–10
4	27	3,0	–6
5	27	3,8	–4
6	27	4,8	–2
7	27	9,5	4
8	27	6,0	0
9	27	5,3	–1
10	27	4,2	–1
11	27	4,2	–3
12	27	3,8	–4
13	27	1,3	–13
14	27	4,2	–3
15	27	3,8	–4
16	27	3,8	–4

Tableau D.4 – Valeurs de l'amplitude de champ classées selon la valeur croissante et évaluation du résultat de mesure

Position	Puissance incidente dBm	Amplitude de champ V/m	Amplitude de champ dB relatif à la position 1
13	27	1,3	–13
3	27	1,9	–10
4	27	3,0	–6
5	27	3,8	–4
12	27	3,8	–4
15	27	3,8	–4
16	27	3,8	–4
10	27	4,2	–3
11	27	4,2	–3
14	27	4,2	–3
6	27	4,8	–2
9	27	5,3	–1
1	27	6,0	0
8	27	6,0	0
7	27	9,5	4
2	27	10,7	5

NOTE

Position 13: $-13 + 6 = -7$, seules 2 positions conviennent.

Position 3: $-10 + 6 = -4$, seules 6 positions conviennent.

Position 4: $-6 + 6 = 0$, 12 positions conviennent.

Dans cet exemple, les points de mesure 13, 3, 7 et 2 s'étendent à l'extérieur du critère $_{+6}^{-0}$ dB

mais au moins (précisément dans cet exemple) 12 des 16 points sont compris dans le critère. Ainsi à cette fréquence particulière le critère est rempli. Dans ce cas la puissance incidente à appliquer pour l'amplitude de champ $E_c = 6$ V/m est $27 \text{ dBm} + 20 \log (6 \text{ V/m} / 3 \text{ V/m}) = 33 \text{ dBm}$. Ceci garantit que pour les 12 points l'amplitude de champ E_c vaut au moins 6 V/m (position 4) et au maximum 12 V/m (positions 1 et 8).

Annexe E (informative)

Informations destinées aux comités de produits, sur le choix des niveaux d'essai

E.1 Introduction

La puissance transmise des radiotransmetteurs est souvent spécifiée en termes d'ERP (puissance rayonnée effective) relative à un dipôle demi-onde. Par conséquent, la valeur du champ généré, pour le champ lointain, peut être obtenue directement par la formule du dipôle suivante:

$$E = k \sqrt{P} / d \quad (\text{Equation E.1})$$

où

E est la valeur du champ (valeur efficace) (V/m);

k est une constante, de valeur égale à 7, pour la propagation en espace libre dans le champ lointain;

P est la puissance (ERP) (W);

d est la distance de l'antenne (m).

La proximité d'objets réfléchissants et absorbants modifie la valeur du champ.

Si l'ERP du transmetteur n'est pas connue, elle peut être remplacée, dans l'Equation E.1, par la puissance fournie à l'antenne. Dans ce cas, une valeur de k égale à 3 est typiquement applicable pour les radiotransmetteurs mobiles.

E.2 Niveaux d'essai relatifs aux cas généraux

Les niveaux d'essai et les bandes de fréquences sont choisis en fonction de l'environnement de rayonnement électromagnétique auquel l'EST peut être exposé lorsqu'il est définitivement installé. Il convient que le choix du niveau d'essai tienne compte des conséquences d'une défaillance. Il convient d'envisager un niveau d'essai supérieur lorsque les conséquences d'une défaillance sont importantes.

Si l'EST est destiné à être installé uniquement sur quelques sites, un examen des sources locales de rayonnement aux fréquences radioélectriques permettra de calculer les valeurs de champ susceptibles d'être rencontrées. Si la puissance des sources est inconnue, il est dans certains cas possible de mesurer les valeurs du champ réel sur le ou les sites concernés.

Pour les matériels destinés à être installés sur une diversité de sites, les informations suivantes peuvent être utilisées pour choisir le niveau d'essai à appliquer.

Les classes suivantes s'appliquent aux niveaux énumérés à l'Article 5. Elles constituent un guide pour la sélection des niveaux correspondants.

- *Classe 1:* Environnement à rayonnement électromagnétique faible. Niveaux caractéristiques des stations de radio/télévision locales situées à plus de 1 km, et des émetteurs/récepteurs de faible puissance.

- *Classe 2*: Environnement à rayonnement électromagnétique modéré. Des émetteurs/récepteurs portatifs de faible puissance (en général moins de 1 W) sont utilisés, mais il existe des restrictions sur leur utilisation à proximité immédiate des matériels. Environnement commercial typique.
- *Classe 3*: Environnement à rayonnement électromagnétique sévère. Des émetteurs/récepteurs portatifs (2 W ou plus) sont utilisés à proximité des matériels, mais à une distance supérieure à 1 m. Des émetteurs de radiodiffusion de forte puissance se trouvent à proximité immédiate du matériel et des appareils ISM peuvent se trouver à proximité. Environnement industriel typique.
- *Classe 4*: Des émetteurs-récepteurs portables sont utilisés à moins de 1 m du matériel. D'autres sources significatives d'interférence peuvent se trouver à moins de 1 m du matériel.
- *Classe x*: Niveau libre, qui peut être négocié et spécifié dans la norme de produit ou dans les spécifications du matériel.

E.3 Niveaux d'essai relatifs à la protection contre les émissions aux fréquences radioélectriques des radiotéléphones numériques

Il convient que les niveaux d'essai soient choisis en fonction du champ électromagnétique attendu, c'est-à-dire en considérant la puissance du radiotéléphone, et la distance probable entre son antenne et le matériel à essayer. Généralement, les stations mobiles impliquent des exigences plus sévères que les stations de base (cela est dû au fait que les stations mobiles ont tendance à être situées beaucoup plus près des dispositifs potentiellement susceptibles que les stations de base).

Il convient que le coût nécessaire à l'établissement de l'immunité requise et les conséquences d'une panne soient pris en considération lors du choix du niveau d'essai à appliquer. Il est recommandé qu'un niveau plus élevé soit envisagé seulement si les conséquences d'une panne sont importantes.

Dans la pratique, des expositions plus élevées que le niveau d'essai choisi peuvent apparaître avec un faible taux d'occurrence. Dans le but d'éviter des pannes inacceptables dans ces situations, il peut être nécessaire de réaliser un deuxième essai avec une valeur plus élevée tout en acceptant une performance réduite (c'est-à-dire une dégradation définie et acceptée).

Le Tableau E.1 donne des exemples de niveaux d'essai, de critères d'aptitude à la fonction et les distances de protection associées. La distance de protection est la distance minimale acceptable d'un radiotéléphone numérique, lorsque l'essai a été réalisé au niveau d'essai fixé. Ces distances sont calculées à partir de l'équation E.1 avec $k = 7$ et en supposant que l'essai est réalisé avec une modulation d'amplitude sinusoïdale à 80 %.

Tableau E.1 – Exemples de niveaux d'essai, de distances de protection associées et suggestions de critères d'aptitude à la fonction

Niveau d'essai	Valeur du champ porteuse V/m	Valeur efficace maximale du champ V/m	Distance de protection pour			Critère d'aptitude à la fonction ^a	
			2W GSM m	8W GSM m	¼W DECT m	Exemple 1 ^b	Exemple 2 ^c
1	1	1,8	5,5	11	1,9	–	–
2	3	5,4	1,8	3,7	0,6	a	–
3	10	18	0,6	1,1	~ 0,2 ^d	b	a
4	30	54	~ 0,2 ^d	0,4	~ 0,1 ^d	–	b
^a Selon l'Article 9. ^b Matériels pour lesquels les conséquences d'une panne ne sont pas importantes. ^c Matériels pour lesquels les conséquences d'une panne sont importantes. ^d A ces distances et à des distances plus courtes, l'Equation E.1, établie pour le champ lointain, n'est pas précise.							

Les points suivants ont été considérés lors de l'élaboration du tableau ci-dessus:

- concernant les GSM, la plupart des terminaux actuellement sur le marché sont de classe 4 (ERP maximum 2 W). Un nombre substantiel de terminaux mobiles en fonctionnement sont de classes 3 et 2 (ERP maximum respectivement 5 W et 8 W). L'ERP des terminaux GSM est souvent plus faible que le maximum, excepté dans les zones de réception médiocre;
- la couverture à l'intérieur est plus mauvaise qu'à l'extérieur, ce qui implique que l'ERP à l'intérieur peut très souvent tendre vers le maximum de la classe. Cela représente la pire situation d'un point de vue CEM puisque la plupart des matériels victimes sont également concentrés à l'intérieur;
- comme décrit à l'Annexe A, le niveau d'immunité d'un matériel est bien corrélé avec la valeur efficace maximale du champ modulé. Pour cette raison, la valeur efficace maximale du champ a été introduite dans l'Equation E.1, au lieu de la valeur du champ de la porteuse, pour le calcul de la distance de protection;
- l'estimation de la distance minimale pour un fonctionnement sûr, ou distance de protection, a été calculée avec une valeur de k égale à 7 dans l'Equation E.1 et ne prend pas en compte les fluctuations statistiques de la valeur du champ, dues aux réflexions sur les murs, le sol et le plafond, qui sont de l'ordre de ± 6 dB;
- la distance de protection selon l'Equation E.1 dépend de la puissance rayonnée effective du radiotéléphone numérique et non de sa fréquence de fonctionnement.

E.4 Mesures spéciales pour les transmetteurs fixes

Les niveaux tirés de cette annexe sont des valeurs caractéristiques qui sont rarement dépassées sur les sites indiqués. Dans certains endroits, ces valeurs peuvent être dépassées, par exemple dans le cas d'installations radar, dans le cas de proximité d'émetteurs de forte puissance ou d'appareils ISM dans le même bâtiment. Dans ces circonstances, il peut être préférable de blinder la salle ou le bâtiment, et de filtrer les câbles d'alimentation et de signaux plutôt que de contraindre tous les matériels à être immunisés à ces niveaux.

Annexe F (informative)

Choix des méthodes d'essai

La présente norme et la CEI 61000-4-6 définissent deux méthodes d'essai d'immunité des matériels électriques et électroniques aux rayonnement électromagnétiques.

Les essais en conduction sont généralement plus pratiques aux basses fréquences, tandis que les essais en rayonnement le sont aux fréquences plus élevées.

Il existe une gamme de fréquences pour laquelle les méthodes d'essai de l'une ou de l'autre norme peuvent être appliquées. Il est possible d'utiliser la méthode d'essai définie dans la CEI 61000-4-6 jusqu'à 230 MHz. Il est aussi possible d'utiliser la méthode d'essai définie dans cette partie jusqu'à 26 MHz. Cette annexe a été élaborée dans le but de fournir aux comités de produit et aux rédacteurs des spécifications de produit un guide de sélection de la méthode d'essai la plus appropriée de façon à assurer une bonne reproductibilité des essais, en se basant sur la conception et le type de l'EST.

Il convient de tenir compte des points suivants:

- la longueur d'onde du champ rayonné par rapport aux dimensions physiques de l'EST;
- les dimensions relatives des armoires et des câbles de l'EST;
- le nombre de câbles et d'enveloppes constituant l'EST.

Annexe G (informative)

Description de l'environnement

G.1 Radiotéléphones numériques

Les Tableaux G.1, G.2, et G.3 donnent la liste des paramètres des systèmes radio appropriés à la CEM.

Les abréviations et définitions suivantes sont utilisées dans les tableaux susmentionnés:

- **CDMA (Code Division Multiple Access):** multiplexage où l'émetteur code le signal en utilisant une séquence pseudo aléatoire que connaît aussi le récepteur et qu'il peut utiliser pour décoder le signal reçu. Chaque différente séquence pseudo aléatoire correspond à un différent canal de communication;
- **CT-2 (Cordless Telephone, deuxième génération):** système de téléphone sans fil, largement utilisé dans certains pays européens;
- **DCS 1800 (Digital Cellular System):** système de télécommunication mobile cellulaire, faible coût, utilisation mondiale;
- **DECT (Digital Enhanced Cordless Telecommunications):** système de télécommunication cellulaire sans fil, faible coût, largement utilisé en Europe;
- **DTX (Discontinuous Transmission):** fréquence de répétition de salves réduite de façon significative, utilisée à des fins d'économie d'énergie, lorsqu'aucune information n'a besoin d'être transmise;
- **ERP (Effective Radiated Power):** puissance rayonnée effective relative à un dipôle demi-onde;
- **FDD (Frequency Division Duplex):** multiplexage dans lequel différentes fréquences sont allouées aux canaux de transmission et de réception;
- **FDMA (Frequency Division Multiple Access):** multiplexage dans lequel des bandes de fréquences séparées sont allouées à chaque canal;
- **GSM (Global System for Mobile Communications):** système de télécommunication mobile cellulaire, utilisation mondiale;
- **HIPERLAN:** High performance radio local area network;
- **IMT-2000 (International Mobile Telecommunication 2000):** 3^{ème} génération de technologie de téléphone cellulaire, qui en fonction de la taille et de la vitesse des transmissions, permet aux utilisateurs de recevoir des images vidéo couleur de haute qualité;
- **NADC (North American Digital Cellular):** système de communication mobile cellulaire numérique, largement utilisé en Amérique du Nord. Terme courant utilisé pour décrire les systèmes cellulaires numériques qui satisfont au Telecommunications Industry Association Interim Standard – 54; connu aussi en tant que D-AMPS;
- **PDC (Personal Digital Cellular System):** système de télécommunication mobile cellulaire, largement utilisé au Japon;
- **PHS (Personal Handy Phone System):** système de téléphone sans fil, largement utilisé au Japon;
- **RFID (Radio Frequency Identification):** Les systèmes RFID comprennent l'identification automatique d'articles, le suivi des biens, les systèmes d'identification du personnel, le contrôle d'accès, les détecteurs de proximité;

- **RTTT (Road Traffic & Transport Telematics):** comprend les systèmes de péage routier.
- **AMRT (accès multiple réparti dans le temps):** voir Article 4;
- **TDD (Time Division Duplex):** multiplexage dans lequel différents créneaux de temps sont alloués aux canaux de transmission et de réception.

Document communiqué en vertu de la Loi sur l'accès à l'information

Tableau G.1 – Unités mobiles et portables

Paramètres	Nom du système								
	GSM	DCS 1800	DECT	CT-2	PDC	PHS	NADC	IMT-2000 TDD	IMT-2000 FDD
Gamme de fréquences du transmetteur	890 MHz à 915 MHz	1,71 GHz à 1,784 GHz	1,88 GHz à 1,96 GHz	864 MHz à 868 MHz	940 MHz à 956 MHz et 1,429 GHz à 1,453 GHz	1,895 GHz à 1,918 GHz	825 MHz à 845 MHz	1 900 MHz à 1 920 MHz	1 920 MHz à 1 980 MHz
Type d'accès	AMRT	AMRT	AMRT/ TDD	FDMA/ TDD	AMRT	AMRT/ TDD	AMRT	CDMA/ TDMA TDD	CDMA/ FDMA FDD
Fréquence de répétition de la salve	217 Hz	217 Hz	100 Hz	500 Hz	50 Hz	200 Hz	50 Hz	NA	NA
Rapport cyclique	1:8	1:8	1:24 (aussi 1:48 et 1:12)	1:12	1:3	1:8	1:3	Continu	Continu
ERP maximal	0,8 W; 2 W; 5 W; 8 W; 20 W	0,25 W; 1 W; 4 W	0,25 W	<10 mW	0,8 W; 2 W	10 mW	<6 W	0,25 W	0,25 W
Modulation secondaire	2 Hz (DTX) et 0,16 Hz à 8,3 Hz (multi-trame)	2 Hz (DTX) et 0,16 Hz à 8,3 Hz (multi-trame)	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune
Zone géographique	Monde entier	Monde entier	Europe	Europe	Japon	Japon	USA	Europe	Europe
NOTE Le CT-3 est considéré comme couvert par le DECT.									

Tableau G.2 – Stations de base

Paramètres	Nom du système								
	GSM	DCS 1800	DECT	CT-2	PDC	PHS	NADC	IMT-2000 TDD	IMT-2000 FDD
Gamme de fréquences du transmetteur	935 MHz à 960 MHz	1,805 GHz à 1,88 GHz	1,88 GHz à 1,96 GHz	864 MHz à 868 MHz	810 MHz à 826 MHz et 1,477 GHz à 1,501 GHz	1,895 GHz à 1,918 GHz	870 MHz à 890 MHz	1 900 MHz à 1 920 MHz	2 110 MHz à 2 170 MHz
Type d'accès	AMRT	AMRT	AMRT/ TDD	FDMA/ TDD	AMRT	AMRT/ TDD	AMRT	CDMA/ TDMA TDD	CDMA/ FDMA FDD
Fréquence de répétition de la salve	217 Hz	217 Hz	100 Hz	500 Hz	50 Hz	200 Hz	50 Hz	NA	NA
Rapport cyclique	1:8 à 8:8	1:8 à 8:8	1:2	1:2	1:3 à 3:3	1:8	1:3 à 3:3	Continu	Continu
ERP maximal	2,5 W à 320 W	2,5 W à 200 W	0,25 W	0,25 W	1 W à 96 W	10 mW à 500 mW	500 W	20 W	20 W
Modulation secondaire	2 Hz (DTX) et 0,16 Hz à 8,3 Hz (multi-trame)	2 Hz (DTX) et 0,16 Hz à 8,3 Hz (multi-trame)	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune	Aucune
Zone géographique	Monde entier	Monde entier	Europe	Europe	Japon	Japon	USA	Europe	Europe
NOTE Le CT-3 est considéré comme couvert par le DECT.									

Tableau G.3 – Autres dispositifs RFs

Paramètres	Nom du système					
	RFID	RTTT	Systèmes de transmission à large bande et HIPERLAN	Systèmes de transmission à large bande et HIPERLAN	Systèmes de transmission à large bande et HIPERLAN	Dispositifs à bande étroite non spécifiques
Gamme de fréquences du transmetteur en MHz	2 446 – 2 454	5 795 – 5 815	2 400 – 2 483,5	5 150 – 5 350	5 470 – 5 725	2 400 – 2 483,5 5 725 – 5 875
Type d'accès	FHSS si supérieur à 500 mW	Aucune	FHSS	Aucune	Aucune	Aucune
ERP maximal	a) 500 mW b) 4 W	2 W ou 8 W	100 mW et limitation de la densité de puissance spectrale	200 mW en moyenne	1 W en moyenne	10 mW 25 mW
Rapport cyclique	a) jusqu'à 100 %; b) <15 % à l'intérieur d'une période de 200 ms	Pas de restrictions	Pas de restrictions	Pas de restrictions	Pas de restrictions	Pas de restrictions
Espacement entre canaux	Aucun	5 MHz ou 10 MHz à l'intérieur de certaines gammes de fréquences	Aucun	Aucun	Aucun	Aucun
Couverture géographique	Mondiale	Mondiale	Mondiale	Mondiale	Mondiale	Mondiale

Annexe H (normative)

Méthode alternative d'illumination pour des fréquences supérieures à 1 GHz ("méthode des fenêtres indépendantes")

H.1 Introduction

Quand on réalise des essais à des fréquences supérieures à 1 GHz, la distance d'essai doit être de 1 m quand on utilise la méthode des fenêtres indépendantes. (par exemple les bandes des radiotéléphones). La conformité à l'exigence d'immunité du champ doit être vérifiée pour la distance d'essai choisie.

NOTE 1 Avec une distance d'essai de 3 m, l'utilisation d'une antenne ayant une largeur étroite de faisceau, ou d'une chambre recouverte de ferrite à des fréquences supérieures à 1 GHz, il peut être difficile de satisfaire à l'exigence d'uniformité de champ sur la surface d'étalonnage 1,5 m × 1,5 m.

Aux fréquences supérieures à 1 GHz, la méthode alternative divise la surface d'étalonnage en une surface adaptable par fenêtres de 0,5 m × 0,5 m, de telle sorte que la surface totale occupée par la face de l'EST est couverte (voir Figures H.1a et H.1b). L'uniformité de champ doit être vérifiée pour chaque fenêtre indépendamment (voir Figure H.2), en utilisant la procédure donnée plus bas. L'antenne émettrice doit être placée à 1 m de la zone d'étalonnage.

NOTE 2 La longueur et la géométrie du câble sont moins critiques à ces fréquences élevées; aussi l'aire de la face est le facteur déterminant pour la dimension de la surface d'étalonnage.

H.2 Etalonnage du champ

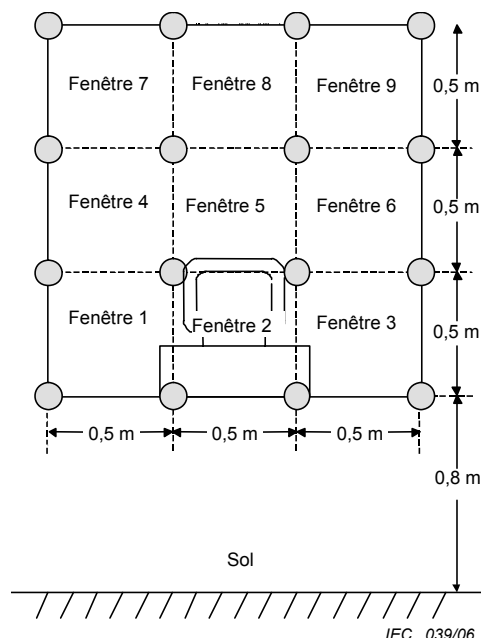
Les étapes suivantes doivent être exécutées pour chaque fenêtre:

- a) positionner la sonde de champ à un des quatre coins de la fenêtre;
- b) appliquer une puissance incidente à l'antenne émettrice, de telle sorte que l'intensité du champ obtenue soit dans la gamme 3 V/m à 10 V/m, sur toute la gamme des fréquences balayée par pas de 1 % de la fréquence de départ (et par la suite de la fréquence précédente), et enregistrer les deux relevés (puissance et amplitude du champ);
- c) avec la même puissance incidente, mesurer et enregistrer la valeur du champ aux trois coins restants; chacune des quatre intensités de champ doit se trouver dans la gamme 0 dB à 6 dB;
- d) prendre comme référence la position donnant l'intensité de champ minimale (ceci garantit que l'exigence ${}^{-0}_{+6}$ dB est satisfaite);
- e) la puissance incidente et de l'amplitude du champ étant connues, la puissance incidente nécessaire à la valeur du champ d'essai requise peut être calculée (par exemple si, en un point donné, 80 W donnent 9 V/m, alors 8,9 W sont nécessaires pour obtenir 3 V/m). Ce calcul doit être enregistré.
- f) répéter les étapes a) à e) pour les polarisations horizontale et verticale.

Les antennes et les câbles utilisés pour vérifier l'uniformité du champ doivent être utilisés pour les essais. Par conséquent, les pertes dans les câbles et les facteurs d'antenne des antennes émettrices ne doivent pas être pris en compte.

La position des antennes émettrices et des câbles doit être consignée aussi précisément que possible. Etant donné que même de petits déplacements modifient le champ de façon significative, les mêmes positions doivent être utilisées pour les essais.

Au cours de l'essai, à chaque fréquence, la puissance incidente établie à l'étape (e) ci-dessus doit être appliquée à l'antenne émettrice. L'essai doit être répété avec l'antenne émettrice repositionnée pour illuminer tour à tour chacune des fenêtres requises (voir Figures H.1 et H.2).

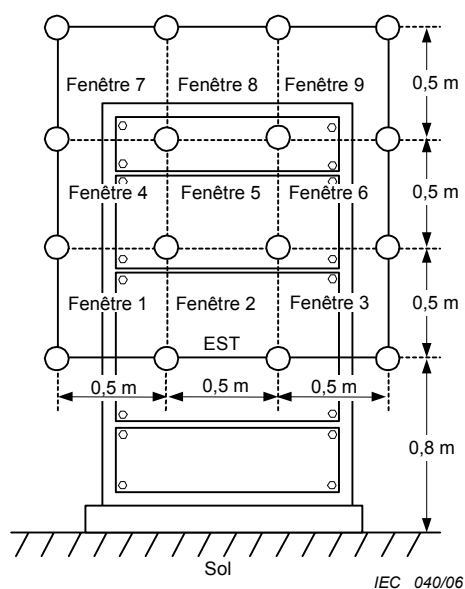


Concept des fenêtres

1. Diviser la surface d'étalonnage en fenêtres de 0,5 m × 0,5 m.
2. L'étalonnage est nécessaire pour toutes les fenêtres prévues pour être occupées par la face de l'EST considéré et les câbles.

(Dans cet exemple, les fenêtres 1 à 3 et 5 sont utilisées pour l'étalonnage et l'essai)

Figure H.1a – Exemple de division pour un matériel de table



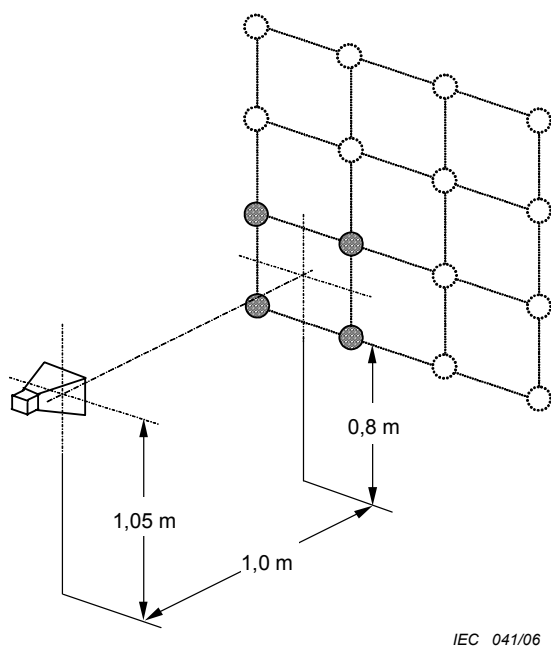
Concept des fenêtres

1. Diviser la surface d'étalonnage en fenêtres de 0,5 m × 0,5 m.
2. L'étalonnage est nécessaire pour toutes les fenêtres prévues pour être occupées par la face de l'EST considéré et les câbles.

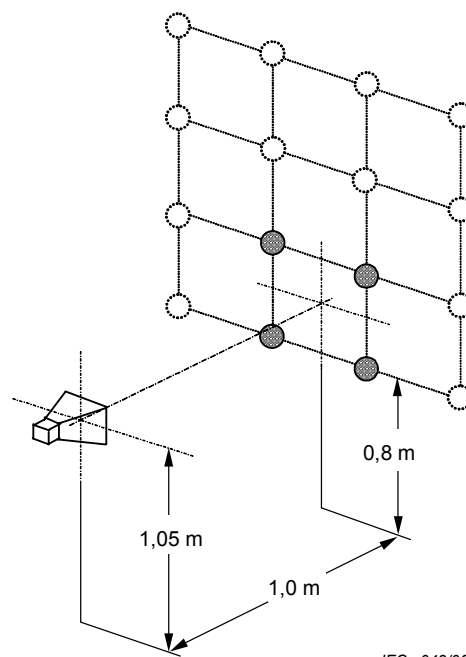
(Dans cet exemple, les fenêtres 1 à 9 sont utilisées pour l'étalonnage et l'essai)

Figure H.1b – Exemple de division pour un matériel de sol

Figure H.1 – Exemples de division de la surface d'étalonnage en fenêtres de 0,5 m × 0,5 m



IEC 041/06



IEC 042/06

Figure H.2 – Exemple d'illumination de fenêtres successives

Annexe I **(informative)**

Méthode d'étalonnage des sondes de champ E

I.1 Vue d'ensemble

Les sondes de champ E à large gamme de fréquences et à réponse dynamique élevée sont très souvent utilisées dans les procédures d'étalonnage de l'uniformité des champs selon la CEI 61000-4-3. Entre autres aspects, la qualité de l'étalonnage de la sonde de champ a un impact direct sur le budget d'incertitude d'un essai d'immunité aux champs rayonnés.

Généralement, les sondes sont soumises à des valeurs de champs relativement faibles, par exemple 1 V/m – 30 V/m pendant l'étalonnage d'uniformité de champ conformément à la CEI 61000-4-3. C'est pourquoi l'étalonnage des sondes de champs E utilisées dans la CEI 61000-4-3 doit tenir compte des gammes de fréquences et de dynamiques prévues.

Actuellement, les résultats de l'étalonnage d'une sonde peuvent présenter des différences lorsqu'elle est étalonnée dans des laboratoires différents. C'est pourquoi l'environnement et la méthode d'étalonnage de la sonde de champ qui est utilisée doivent être spécifiés. La présente annexe fournit les informations pertinentes sur l'étalonnage des sondes à utiliser dans la CEI 61000-4-3.

Pour des fréquences supérieures à plusieurs centaines de MHz jusqu'à la gamme des GHz, l'utilisation d'antennes cornet à gain standard, dans le but d'établir un champ standard à l'intérieur d'une chambre anéchoïque, est une des méthodes les plus largement répandues afin d'étalonner des sondes pour des applications selon la CEI 61000-4-3. Cependant, il y a un manque de méthode établie pour la validation de l'environnement d'essai pour les étalonnages des sondes de champ.

En utilisant cette méthode, des différences ont été observées entre laboratoires d'étalonnage, au-delà des incertitudes de mesure qu'ils rapportent également.

Les étalonnages entre 80 MHz et quelques centaines de MHz de sondes de champ qui sont habituellement réalisés dans des guides d'onde TEM sont généralement plus reproductibles.

Cette annexe informative se concentre par conséquent sur l'amélioration des procédures d'étalonnage de sondes, avec des antennes cornets dans des chambres anéchoïques, pour lesquelles une procédure d'étalonnage complète est décrite.

I.2 Exigences pour l'étalonnage des sondes

I.2.1 Généralités

L'étalonnage des sondes de champ E destinées à être utilisées pour la procédure d'étalonnage UFA (zone de champ uniforme) telle qu'elle est définie dans la CEI 61000-4-3 doit satisfaire aux exigences suivantes.

I.2.2 Gamme de fréquences d'étalonnage

La gamme de fréquences doit normalement couvrir les valeurs de 80 MHz à 6 GHz mais elle peut être limitée à la gamme de fréquences exigée par les essais.

I.2.3 Pas de fréquence

Il est nécessaire d'utiliser des fréquences fixes d'étalonnage pour être en mesure de comparer les résultats d'essai entre différents laboratoires d'étalonnage.

80 MHz à 1 GHz;

Utiliser les fréquences suivantes pour l'étalonnage des sondes de champ E (normalement une largeur de pas de 50 MHz):

80, 100, 150, 200,..., 950, 1 000 MHz

1 GHz à 6 GHz

Utiliser les fréquences suivantes pour l'étalonnage des sondes de champ E (largeur de pas de 200 MHz):

1 000, 1 200, 1 400,..., 5 800, 6 000 MHz

NOTE Il n'est pas envisagé de mesurer une sonde par deux fois à 1 GHz, mais dans le cas où elle est utilisée jusqu'à ou à partir de 1 GHz, la sonde a besoin d'être mesurée à cette fréquence.

I.2.4 Valeur du champ

Il convient que la valeur du champ à laquelle une sonde est étalonnée soit fondée sur la valeur du champ exigée pour l'essai d'immunité. Comme la méthode préférentielle d'étalonnage de l'uniformité de champ est appliquée avec une valeur de champ d'au moins 1,8 fois la valeur de champ à appliquer à l'EST, il est recommandé que l'étalonnage de sonde soit réalisé à une valeur égale au double de la valeur de champ (voir Tableau I.1). Si une sonde doit être utilisée à différents niveaux de champ, elle doit être étalonnée à de multiples niveaux en fonction de sa linéarité et au moins aux niveaux minimum et maximum. Voir aussi I.3.2

NOTE 1 Ceci couvre aussi l'exigence de compression de 1 dB de l'amplificateur de puissance.

NOTE 2 L'étalonnage est réalisé en utilisant des niveaux CW sans modulation.

Tableau I.1 – Niveau de la valeur de champ d'étalonnage

Niveau d'étalonnage	Valeur de champ d'étalonnage
1	2 V/m
2	6 V/m
3	20 V/m
4	60 V/m
X	Y V/m
NOTE X,Y est un niveau d'étalonnage ouvert qui peut être supérieur ou inférieur à l'un des autres niveaux 1 à 4. Ce niveau peut être indiqué dans la spécification de produit ou par le laboratoire d'essai.	

I.3 Exigences pour les instruments d'étalonnage

I.3.1 Harmoniques et signaux parasites

Tout harmonique ou signal parasite provenant des amplificateurs de puissance doit être inférieur d'au moins 20 dB à la fréquence porteuse. Ceci est exigé pour tous les niveaux de champ utilisés pour l'étalonnage et la vérification de la linéarité. Comme le contenu harmonique des amplificateurs de puissance est généralement plus mauvais à des niveaux de puissance supérieurs, il est admis de réaliser la mesure des harmoniques uniquement à la valeur la plus élevée du champ d'étalonnage. La mesure d'harmoniques peut être réalisée en utilisant un analyseur de spectre étalonné qui est connecté à la sortie de l'amplificateur par l'intermédiaire d'un atténuateur ou d'un coupleur directionnel.

NOTE 1 L'antenne peut avoir une influence supplémentaire sur le contenu harmonique et peut nécessiter d'être vérifié séparément.

Les laboratoires d'étalonnage doivent réaliser une mesure pour valider le fait que les signaux harmoniques et/ou parasites provenant de l'amplificateur satisfont aux exigences pour tous les montages de mesure. Ceci peut être réalisé en connectant un analyseur de spectre à l'accès 3 du coupleur directionnel (en remplaçant la sonde du mesureur de puissance par l'entrée de l'analyseur de spectre – voir la Figure I.2).

NOTE 2 Il convient de s'assurer que le niveau de puissance ne dépasse pas la puissance d'entrée maximale admissible de l'analyseur de spectre. Il est permis d'utiliser un atténuateur.

La fréquence doit couvrir au moins le troisième harmonique de la fréquence prévue. La mesure de validation doit être réalisée au niveau de puissance qui générera la valeur de champ prévue la plus élevée.

Des filtres de suppression d'harmoniques peuvent être utilisés pour améliorer la pureté spectrale du ou des amplificateur(s) de puissance (voir l'Annexe D).

I.3.2 Vérification de la linéarité de la sonde

La linéarité de la sonde qui est utilisée pour la validation de la chambre selon I.4.2.5 doit être, à $\pm 0,5$ dB près, une réponse linéaire idéale dans la gamme dynamique exigée (voir Figure I.1). La linéarité doit être confirmée pour tous les réglages de gamme prévus si la sonde possède plusieurs réglages de gamme ou de gain.

En général, la linéarité de la sonde ne varie pas de manière significative avec la fréquence. La vérification de la linéarité peut être réalisée à une fréquence ponctuelle proche de la région centrale de l'utilisation prévue de la plage de fréquences et lorsque la réponse de la sonde par rapport à la fréquence est relativement plate. La fréquence ponctuelle choisie doit être consignée dans le certificat d'étalonnage.

Il convient que la valeur de champ pour laquelle la linéarité de la sonde est mesurée soit la valeur de champ qui est utilisée pendant la validation de la chambre avec une tolérance de -6 dB à $+6$ dB et un pas suffisamment petit, par exemple 1 dB. Le Tableau I.2 montre un exemple des niveaux de valeur de champ à vérifier pour une application de 20 V/m.

Tableau I.2 – Exemple pour la vérification de la linéarité de la sonde

Niveau de signal	Valeur du champ d'étalonnage
dB	V/m
-6,0	13,2
-5,0	14,4
-4,0	14,8
-3,0	15,2
-2,0	16,3
-1,0	18,0
0	20,0
1,0	22,2
2,0	24,7
3,0	27,4
4,0	30,5
5,0	34,0
6,0	38,0

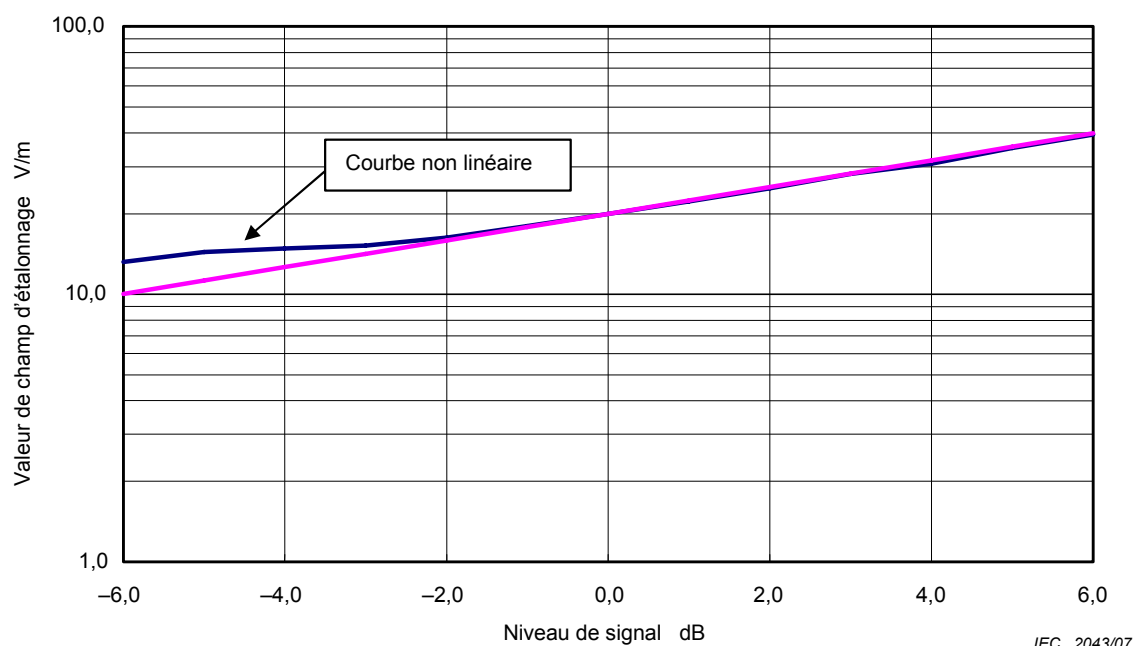


Figure I.1 – Exemple de linéarité pour la sonde

I.3.3 Détermination du gain des antennes cornets standards

Le gain en champ lointain des antennes cornets pyramidales standards peut être déterminé de manière assez précise (moins de 0,1 dB d'incertitude d'après le document de référence [1]¹⁾. Le gain en champ lointain est normalement valable pour les distances supérieures à $8D^2/\lambda$ (où D est la dimension la plus importante de l'ouverture du cornet et λ est la longueur d'onde). Les étalonnages des sondes de champ à de telles distances peuvent ne pas être réalisables en pratique, car cela exige une chambre anéchoïque de grande taille et des amplificateurs de puissance élevée. Les sondes de champ sont normalement étalonnées dans la région de champ proche des antennes d'émission. Le gain en champ proche des antennes cornets à gain standard a été déterminé en utilisant des équations comme celles décrites en [2]. Le gain est calculé sur la base des dimensions physiques d'un cornet pyramidal normalisé et en prenant l'hypothèse d'une distribution quadratique de la phase au niveau de l'ouverture du cornet. Le gain déterminé de cette manière est inadapté à une utilisation pour l'essai de TOS de la chambre et les étalonnages de sonde qui s'en suivent.

Les équations (telles qu'elles sont données en [2]) ont été déduites en utilisant l'intégration d'ouverture en prenant comme hypothèse qu'il ne se produit pas de réflexion au niveau de l'ouverture du cornet et que le champ incident sur l'ouverture est un mode TE_{10} mais avec une distribution quadratique de la phase à travers l'ouverture. Certaines approximations ont été appliquées au cours de l'intégration pour obtenir le résultat de forme approché. D'autres effets, comme les réflexions multiples provenant du bord du cornet et des modes d'ordre supérieur au niveau de l'ouverture, ne sont pas pris en compte. En fonction de la fréquence et de la conception du cornet, l'erreur est généralement de l'ordre de $\pm 0,5$ dB, mais elle peut être plus importante.

Pour obtenir une plus grande précision, une méthode numérique utilisant l'intégration d'onde complète peut être utilisée. Par exemple, les incertitudes dans le calcul du gain par une méthode numérique peuvent être réduites à moins de 5 % [3].

1) Les chiffres entre crochets se réfèrent aux documents de référence dans l'Article I.6.

Le gain de l'antenne cornet peut également être déterminé de manière expérimentale. Il peut, par exemple, être déterminé à des distances réduites, avec une méthode utilisant trois antennes par une technique d'extrapolation comme celle décrite en [4], ou par des variantes de cette méthode.

Il est recommandé que la distance entre l'antenne cornet et la sonde en essai soit d'au moins $0,5D^2/\lambda$ pendant l'étalonnage. Lors de la détermination des gains, des incertitudes importantes peuvent résulter d'une distance plus courte. Les ondes stationnaires entre l'antenne et la sonde peuvent être également importantes pour des distances plus courtes, ce qui donnerait à nouveau des incertitudes de mesure d'étalonnage importantes.

I.4 Etalonnage des sondes de champ dans les chambres anéchoïques

I.4.1 Environnements d'étalonnage

Il convient que l'étalonnage de la sonde soit réalisé dans une chambre totalement anéchoïque (FAR) ou dans une chambre semi-anéchoïque avec des absorbants sur le plan de sol satisfaisant aux exigences de I.4.2.

Lorsqu'une FAR est utilisée, la taille minimale recommandée du volume de travail interne pour effectuer l'étalonnage de la sonde est de 5 m (D) x 3 m (W) x 3 m (H).

NOTE 1 A des fréquences supérieures à plusieurs centaines de MHz, l'utilisation d'antennes cornets à gain standard pour établir un champ normalisé à l'intérieur d'une chambre anéchoïque est une des méthodes les plus largement utilisées, afin d'étalonner les sondes de champ pour les applications selon la CEI 61000-4-3. A des fréquences plus faibles, comme de 80 MHz à plusieurs centaines de MHz, l'utilisation d'une chambre anéchoïque peut ne pas être pratique. Ainsi, la sonde de champ peut être étalonnée dans d'autres installations également utilisées pour les essais d'immunité aux champs électromagnétiques. C'est pourquoi les guides d'ondes TEM, etc., sont inclus dans la présente annexe comme environnements alternatifs d'étalonnage pour ces fréquences plus faibles.

Le système et l'environnement utilisés pour l'étalonnage des sondes doivent satisfaire aux exigences suivantes.

NOTE 2 Comme alternative, le champ électrique peut être établi en utilisant une sonde de transfert (voir I.5.4).

I.4.2 Validation des chambres anéchoïques pour l'étalonnage de la sonde de champ

Pour les mesures d'étalonnage des sondes, on prend l'hypothèse d'un environnement en espace libre. Un essai de TOS de la chambre utilisant une sonde de champ doit être réalisé pour déterminer l'acceptabilité en vue de l'étalonnage d'une sonde ou d'un capteur. La méthode de validation caractérise les performances de la chambre et du matériau absorbant.

Chaque sonde a un volume et une taille physique spécifiques, par exemple le boîtier pour accumulateurs et/ou la carte du circuit. Dans d'autres procédures d'étalonnage, une zone sphérique tranquille est garantie dans le volume d'étalonnage. Les exigences spécifiques de cette annexe se concentrent sur un essai de TOS pour les points d'essai situés au niveau des axes du faisceau de l'antenne.

Les fixations d'essai et leurs influences (comme celles destinées à maintenir la sonde, qui peuvent être exposées aux champs électromagnétiques et interférer avec l'étalonnage) ne peuvent pas être entièrement évaluées. Un essai séparé est nécessaire pour valider les influences de ces fixations.

I.4.2.1 Mesure de la puissance fournie à un dispositif d'émission en utilisant des coupleurs directionnels

La puissance nette fournie à un dispositif d'émission peut être mesurée avec un coupleur bidirectionnel à 4 accès ou avec deux coupleurs monodirectionnels à 3 accès connectés dos à dos (formant un coupleur dit « directionnel double »). Un montage fréquent utilisant un coupleur bidirectionnel pour mesurer la puissance nette fournie à un dispositif d'émission est représenté à la Figure I.2.

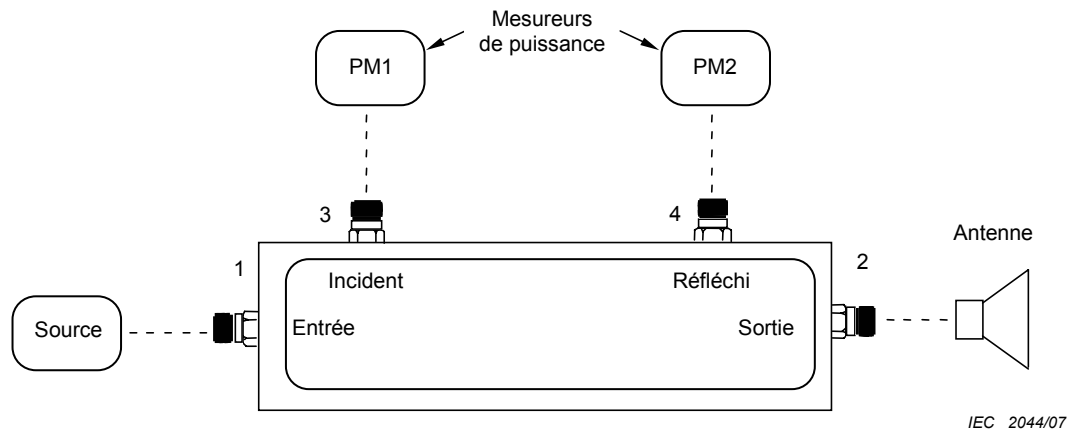


Figure I.2 – Montage pour la mesure de la puissance nette vers un dispositif d'émission

Le couplage incident, le couplage réfléchi et le couplage en transmission sont définis selon les équations suivantes, lorsque chaque accès est connecté à une charge adaptée et à une source adaptée:

$$C_{\text{fwd}} = \frac{P_3}{P_1},$$

$$C_{\text{rev}} = \frac{P_4}{P_2},$$

$$C_{\text{trans}} = \frac{P_2}{P_1},$$

où P_1 , P_2 , P_3 , P_4 sont les puissances respectives à chaque accès du coupleur directionnel.

La puissance nette fournie au dispositif d'émission est donc:

$$P_{\text{net}} = \frac{C_{\text{trans}}}{C_{\text{fwd}}} PM_1 - \frac{PM_2}{C_{\text{rev}}},$$

où PM_1 et PM_2 sont les valeurs lues sur le mesureur de puissance en unités linéaires.

Lorsque le TOS de l'antenne est connu, un coupleur unique à trois accès peut être utilisé. Par exemple, une antenne avec un TOS de 1,5 équivaut à un coefficient de réflexion de tension (VRC) de 0,2.

La précision est affectée par la directivité du coupleur. La directivité est une mesure de l'aptitude du coupleur à isoler les signaux incident et réfléchi. Pour un dispositif d'émission bien adapté, la puissance réfléchie est bien plus faible que la puissance incidente. L'effet de la directivité est donc moins important que dans une application de réflectivité. Par exemple, lorsque l'antenne d'émission a un TOS de 1,5 et que le coupleur a une directivité de 20 dB, l'incertitude maximale absolue de la puissance nette due à la directivité finie est de 0,22 dB – 0,18 dB = 0,04 dB avec une distribution en U (où 0,22 dB est la perte de puissance apparente incidente due au TOS de 1,5).

La puissance nette fournie au dispositif d'émission est donc:

$$P_{\text{net}} = C_{\text{fwd}} PM_1 (1 - VRC^2)$$

I.4.2.2 Etablissement d'un champ normalisé en utilisant les antennes cornets

Le gain de l'antenne cornet est déterminé par les méthodes décrites en I.3.3. Le champ électrique sur l'axe (en V/m) est déterminé par

$$E = \sqrt{\frac{\eta_0 P_{\text{net}} g}{4\pi}} \frac{1}{d},$$

où $\eta_0 = 377 \, \Omega$ pour l'espace libre, P_{net} (en W) est la puissance nette déterminée par la méthode décrite en I.4.2.1, g est le gain numérique de l'antenne déterminé par I.3.3 et d (en m) est la distance par rapport à l'ouverture de l'antenne.

I.4.2.3 Gamme de fréquences et pas de fréquence pour l'essai de validation de chambre

L'essai de TOS de la chambre doit couvrir la gamme de fréquences pour laquelle l'étalonnage de la sonde est prévu et doit utiliser les mêmes pas de fréquences que ceux donnés en I.2.3.

Les essais de TOS doivent être réalisés dans la chambre à la valeur la plus faible et à la valeur la plus élevée des fréquences de fonctionnement de chaque antenne. Lorsque des absorbants à bande étroite sont utilisés, par exemple des ferrites, il peut être nécessaire de mesurer un plus grand nombre de points de fréquences. Il convient d'utiliser la chambre pour l'étalonnage de la sonde uniquement dans la gamme de fréquences pour laquelle elle satisfait aux critères de TOS.

I.4.2.4 Procédure de validation de la chambre

La chambre utilisée pour l'étalonnage de la sonde doit être vérifiée avec la procédure suivante, sauf lorsque les conditions physiques de la chambre ne permettent pas son utilisation. Dans de tels cas, la méthode alternative d' I.4.2.7 peut être appliquée.

La sonde doit être située au point de mesure utilisant un matériau support présentant une faible permittivité (par exemple mousse de styrène) conformément aux Figures I.3 et I.4.

Une sonde de champ est placée à l'emplacement où elle sera utilisée pour étalonnage. On fera varier sa polarisation et sa position le long de la ligne de visée de l'antenne cornet d'émission pour déterminer le TOS de la chambre. L'antenne d'émission doit être la même à la fois pour l'essai de TOS de la chambre et pour l'étalonnage de la sonde.

L'installation de l'antenne cornet à gain standard et de la sonde à l'intérieur de la chambre est indiquée à la Figure I.3. La sonde et l'antenne cornet doivent être placées sur le même axe horizontal en étant séparées par une distance L mesurée de la face avant de l'antenne au centre de la sonde.

Dans tous les cas, la sonde de champ doit être positionnée latéralement au centre de la face de l'antenne cornet.

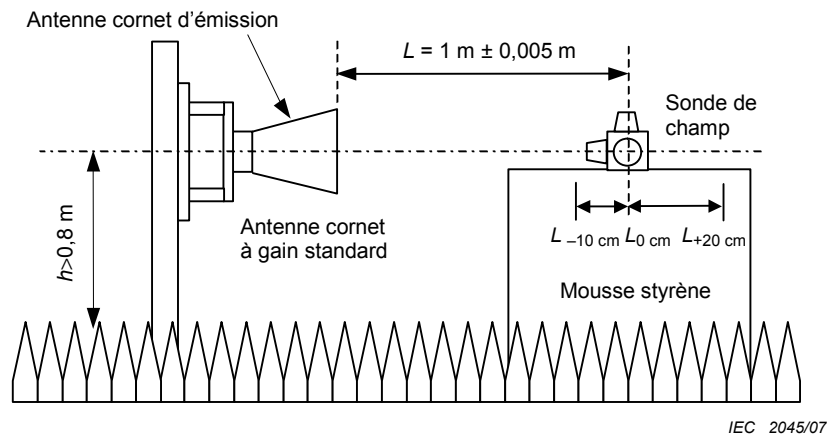


Figure I.3 – Montage pour l'essai de validation de la chambre

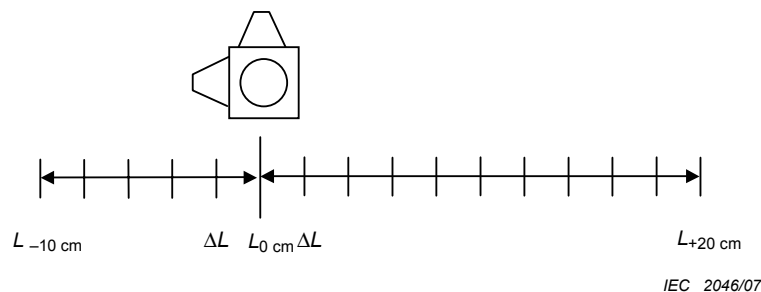


Figure I.4 – Détail de la position de mesure ΔL

Le montage est illustré aux Figures I.3 et I.4, où $L_{-10 \text{ cm}}$ à $L_{+20 \text{ cm}}$ est la distance d'étalonnage de la sonde, mesurée entre la face de l'antenne cornet et le centre de la sonde de champ. $L_{0 \text{ cm}}$ est définie comme la position 0.

Les positions seront $L_{-10 \text{ cm}}$, $L_{-8 \text{ cm}}$, $L_{-6 \text{ cm}}$, ..., L_0 , $L_{+2 \text{ cm}}$, $L_{+4 \text{ cm}}$, ..., $L_{+20 \text{ cm}}$, $\Delta L = 2 \text{ cm}$.

Si la sonde est placée dans le champ proche de l'antenne cornet d'émission (distance $< 2 D^2/\lambda$, où D est la dimension la plus importante de l'antenne et λ est la longueur d'onde en espace libre), le gain de l'antenne d'émission n'est pas constant et il peut être nécessaire de le déterminer pour chaque position.

Une puissance constante créant une certaine valeur de champ (par exemple 20 V/m) à une distance de 1 m est appliquée pour toutes les positions de la sonde. L'antenne d'émission et la sonde de champ étant toutes les deux polarisées verticalement, les valeurs lues de la sonde sont enregistrées pour toutes les positions à toutes les fréquences. L'essai est répété avec l'antenne et la sonde polarisées horizontalement.

Toutes les valeurs lues doivent satisfaire aux exigences données en I.4.2.5.

I.4.2.5 Critères d'acceptation de TOS

Les résultats de la mesure de TOS doivent être comparés en utilisant la procédure suivante. Pour le calcul de l'amplitude du champ, se référer à I.4.2.2.

a) Calcul de la valeur de champ

La valeur de champ électrique dans la zone spatiale entre les distances de 90 cm et 120 cm est calculée par pas de 2 cm pour chaque fréquence.

Ce calcul est fondé sur la valeur de champ E d'une distance de 1 m utilisée pour la vérification.

b) Ajustement des données

Les données sont ajustées avec le processus suivant parce que la sonde utilisée pour la mesure du TOS ne peut pas donner une valeur égale à la valeur de champ calculée.

- La valeur indiquée du champ E de la sonde à 1 m doit être ajustée à la position de 1 m du calcul. La différence obtenue entre les indications de la sonde et la valeur calculée est utilisée comme la valeur de correction k pour toutes les données à 90 cm et 120 cm.

Par exemple: comparaison entre la valeur de la mesure de la sonde V_{mv} (par exemple 21 V/m) et la valeur calculée V_{cv} (par exemple 20 V/m) à une distance de 1 m. Dans ce cas, la valeur de correction k est $V_{cv} - V_{mv} = -1$ V/m.

- La valeur de correction k doit être ajoutée aux données qui sont observées aux positions de mesure de 90 cm à 120 cm.
- Le même calcul doit être appliqué à toutes les valeurs de mesure de toutes les fréquences mesurées. Dans le cas de l'exemple ci-dessus, $k = -1$ V/m. Ainsi $k = -1$ est ajouté à toutes les données de valeurs de mesure de la sonde.

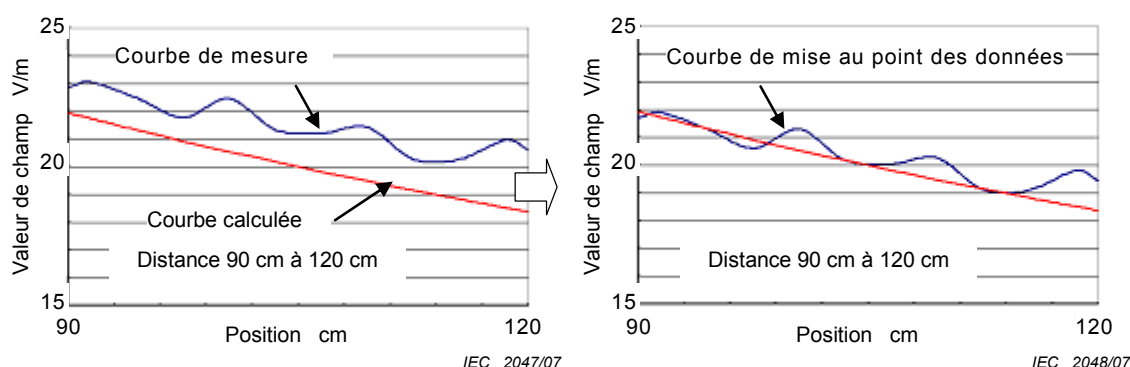


Figure I.5 – Exemple de mise au point de données

c) Comparaison entre les données de mesure et les données de calcul

Lorsque la différence de données dans la courbe de calcul et dans la courbe de mesure dépasse $\pm 0,5$ dB dans toute position de mesure, la chambre ne doit pas être utilisée pour l'étalonnage de la sonde.

NOTE Le critère de 0,5 dB est établi en fonction du budget d'incertitude de mesure et a été vérifié dans plusieurs chambres existantes qui sont adaptées à l'étalonnage des sondes de champ (y compris au moins les moyens d'un laboratoire d'étalonnage national). Quoi qu'il en soit, il s'agit seulement d'un contributeur à l'incertitude globale.

Certaines sondes de champ possèdent un boîtier métallique ou un long bâton comme les accumulateurs, ou un circuit. Ces éléments peuvent causer des erreurs de réflexion à certaines distances et fréquences. Lorsque ces sondes sont utilisées, l'influence de la réflexion doit être minimisée par exemple en faisant pivoter la sonde ou en modifiant son orientation.

I.4.2.6 Validation de la fixation de la sonde

La fixation de la sonde peut causer des réflexions de champs électromagnétiques au cours de l'étalonnage. C'est pourquoi son influence sur les résultats d'étalonnage doit être vérifiée à l'avance.

La procédure définie dans cet article doit être observée pour toute nouvelle fixation de sonde à utiliser.

Mode opératoire:

- Placer la sonde sur un support de référence fait d'un matériau ayant une permittivité relative inférieure à 1,2 et une tangente de pertes diélectriques inférieure à 0,005. L'emplacement de la sonde doit être le même que pour le montage d'étalonnage. Il convient que la fixation de référence soit aussi petite que possible. Toute autre structure de support doit être aussi peu intrusive que possible et située à au moins 50 cm de la sonde. Il convient d'éviter les constructions de support situées devant (entre l'antenne et la sonde) ou derrière la sonde.
- Générer un champ normalisé qui se situe dans les limites de la gamme dynamique de la sonde au niveau de la position d'étalonnage.
- Enregistrer la valeur donnée par la sonde pour tous les points de fréquences d'étalonnage. Exercer une rotation ou repositionner la sonde selon les besoins pour toutes les géométries d'étalonnage (pour les sondes de champs isotropes à trois axes, chaque axe peut avoir besoin d'être aligné de manière séparée) et répéter les étapes 1 et 2. Enregistrer les valeurs données par la sonde pour toutes les orientations.
- Retirer la fixation de référence et la remplacer par la fixation d'étalonnage à qualifier. Répéter les étapes 2 et 3.
- Comparer les résultats des étapes 3 et 4. Avec les deux fixations et pour la même orientation de sonde, la différence entre les valeurs doit être inférieure à $\pm 0,5$ dB.

I.4.2.7 Procédure alternative de validation de la chambre

Cette procédure alternative de validation de la chambre est applicable lorsque la procédure de validation d' I.4.2.4 ne peut pas être appliquée.

Une sonde de champ est placée à l'emplacement où elle sera utilisée pour l'étalonnage. On fera varier sa polarisation et sa position le long de la ligne de visée de l'antenne cornet d'émission pour déterminer le TOS de la chambre. L'antenne d'émission doit être la même, à la fois pour l'essai de TOS de la chambre et pour l'étalonnage de la sonde.

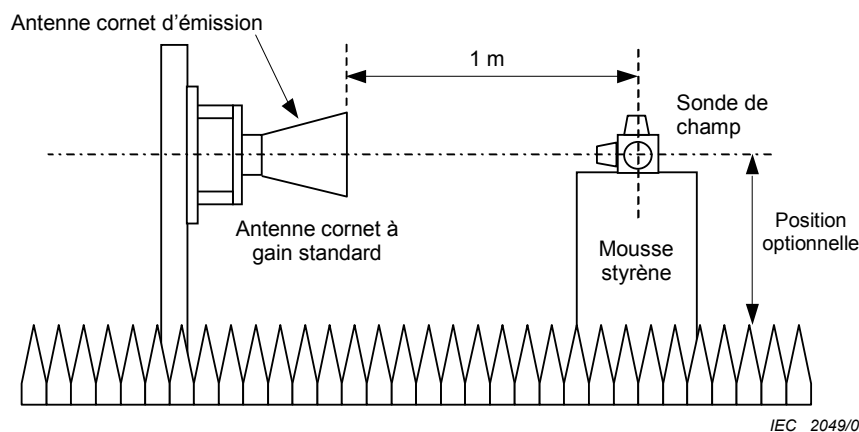


Figure I.6 – Exemple d'installation d'essai pour l'antenne et la sonde

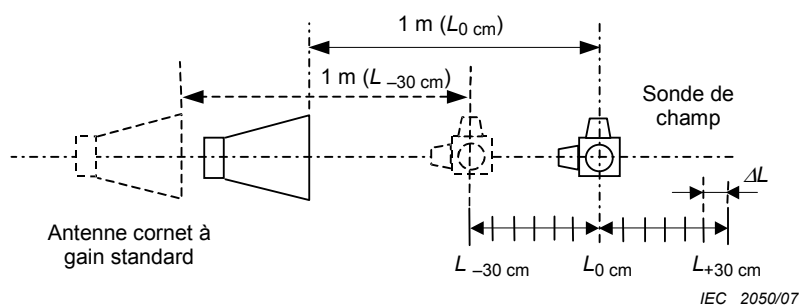


Figure I.7 – Montage pour l'essai de validation de la chambre

Le montage est illustré aux Figures I.6 et I.7, où la distance d'étalonnage de la sonde, mesurée entre la face de l'antenne cornet et le centre de la sonde de champ, est maintenue à une distance fixe à savoir 1 m.

Il est souhaitable d'utiliser un matériau à faible permittivité pour la fixation de la sonde pour éviter les influences sur la mesure. La fixation utilisée pour l'étalonnage de la sonde doit être évaluée séparément (voir I.4.2.6).

Les positions seront $L - 30$ cm, $L - 25$ cm, $L - 20$ cm, ..., L_0 , $L + 5$ cm, $L + 10$ cm, ..., $L + 30$ cm, ΔL est égale à 5 cm.

Un champ constant, par exemple 20 V/m, est généré pour toutes les positions. La valeur du champ généré doit être dans les limites de la gamme dynamique de la sonde de champ. L'antenne d'émission et la sonde de champ étant toutes les deux polarisées verticalement : enregistrer les valeurs lues sur la sonde pour toutes les positions à toutes les fréquences. Répéter l'essai avec l'antenne et la sonde polarisées horizontalement.

A chaque fréquence, il y aura 26 valeurs de sonde indépendantes (13 positions et deux polarisations). L'étendue maximale des valeurs lues à chaque fréquence doit être inférieure à $\pm 0,5$ dB.

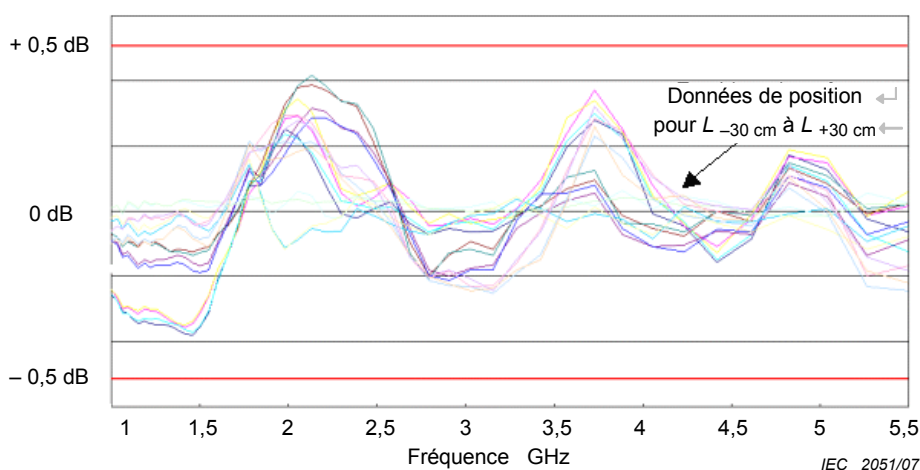


Figure I.8 – Exemple de données de validation alternative de chambre

I.4.3 Procédure d'étalonnage de la sonde

De nombreuses sondes modernes possèdent des facteurs de correction internes pour fournir une réponse linéaire. Les laboratoires d'étalonnage peuvent ajuster les facteurs au cours de l'étalonnage pour donner une réponse de sonde à $\pm 0,5\text{dB}$ de la valeur idéale. Si des ajustements sont réalisés, il convient que le laboratoire d'étalonnage consigne la réponse à la fois avant et après la mise au point.

Il convient que le processus de vérification de la linéarité soit applicable à la sonde à étalonner. Pour les influences de la linéarité sur le système d'étalonnage, voir I.3.2.

NOTE Lorsqu'il n'est pas possible d'ajuster la sonde, il convient que toute non-linéarité soit compensée par l'utilisateur lorsqu'il effectue l'étalonnage d'uniformité du champ.

L'étalonnage de la sonde doit utiliser le système/environnement de mesure, qui satisfait à l'exigence d' I.4.

I.4.3.1 Montage d'essai

Une fixation qui n'est pas entièrement qualifiée selon I.4.2.6 peut donner des incertitudes de mesure importantes. C'est pourquoi, la fixation de la sonde validée selon I.4.2.6 doit être utilisée.

Il convient que l'étalonnage de la sonde de champ soit réalisé de préférence selon la spécification utilisateur, ou sinon selon la spécification fabricant en ce qui concerne l'orientation de la sonde. Cette orientation doit aussi être utilisée dans le laboratoire d'essai pour limiter l'effet de l'isotropie. Si le fabricant ne spécifie pas une orientation de sonde de champ dans la fiche technique, il convient que l'étalonnage soit réalisé selon l'orientation de la sonde qui peut être considérée comme l'orientation en « utilisation normale », ou conformément à une orientation préférentielle définie par le laboratoire d'essai (qui utilisera la sonde). Dans tous les cas, le rapport d'étalonnage doit inclure l'orientation de la sonde de champ pour laquelle l'étalonnage a été entrepris.

L'exemple du montage de mesure est donné aux Figures I.9 et I.10.

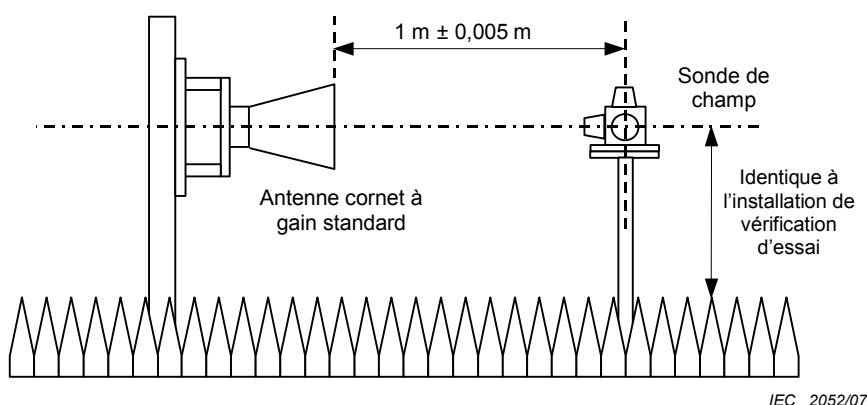


Figure I.9 – Installation d'étalonnage de la sonde de champ

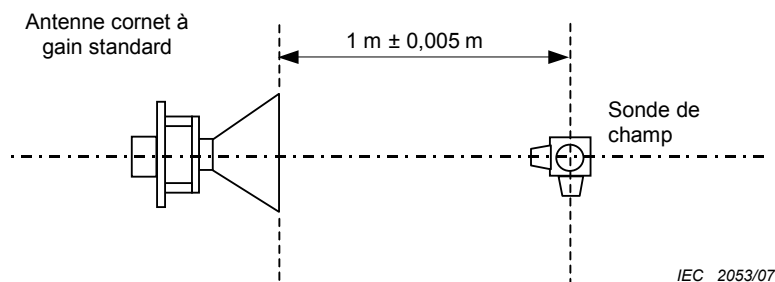


Figure I.10 – Installation d'étalonnage de la sonde de champ (vue de dessus)

I.4.3.2 Rapport d'étalonnage

Les résultats de mesure obtenus en considération d' I.4.3.1 doivent être consignés comme un rapport d'étalonnage.

Ce rapport d'étalonnage doit contenir au moins les informations suivantes:

- a) environnement d'étalonnage;
- b) fabricant de la sonde;
- c) désignation du type;
- d) numéro de série;
- e) date d'étalonnage;
- f) température et humidité;
- g) détails des données d'étalonnage:
 - fréquence;
 - valeur de champ appliquée (V/m);
 - valeurs lues sur la sonde (V/m);
 - orientation de la sonde;
- h) incertitude de mesure.

NOTE L'IEEE Std 1309 [2] contient quelques conseils concernant l'incertitude de mesure de l'étalonnage des sondes.

I.5 Autres environnements d'étalonnage de sondes et méthodes

Cet article décrit l'exigence d'environnement pour d'autres sites d'étalonnage, par exemple nécessaire pour l'étalonnage dans la gamme des basses fréquences.

L'étalonnage peut être effectué dans les environnements définis comme indépendants de l'environnement d'essai décrit dans la CEI 61000-4-3. Contrairement à l'équipement qui est soumis aux essais d'immunité, les sondes de champ sont normalement petites et généralement elles ne sont pas équipées de câbles conducteurs.

I.5.1 Etalonnage de la sonde de champ utilisant les cellules TEM

Une cellule TEM rectangulaire peut être utilisée pour établir les champs normalisés pour les étalonnages de la sonde de champ. La fréquence supérieure utilisable d'une cellule TEM peut être déterminée par les méthodes décrites dans le Paragraphe 5.1 de la CEI 61000-4-20. La fréquence supérieure d'une cellule TEM est généralement de quelques centaines de MHz. Le champ au centre d'une cellule TEM entre le septum et la plaque haute ou basse (en m) est obtenu à partir de:

$$E = \frac{\sqrt{Z_0 P_{\text{net}}}}{h} \text{ (V/m)},$$

où Z_0 est l'impédance caractéristique de la cellule TEM (typiquement 50Ω), P_{net} est la puissance nette en Watt déterminée selon I.4.2.1, h est la distance de séparation entre le septum et la plaque haute ou basse (en m).

Il convient que le TOS de la cellule TEM soit maintenu à une valeur peu élevée, par exemple moins de 1,3 pour réduire les incertitudes de mesure.

Une méthode alternative de mesure de P_{net} consiste à utiliser un atténuateur étalonné à faible TOS et un détecteur de puissance connecté à l'accès de sortie de la cellule TEM.

I.5.2 Etalonnage de la sonde de champ utilisant les chambres en guides d'ondes

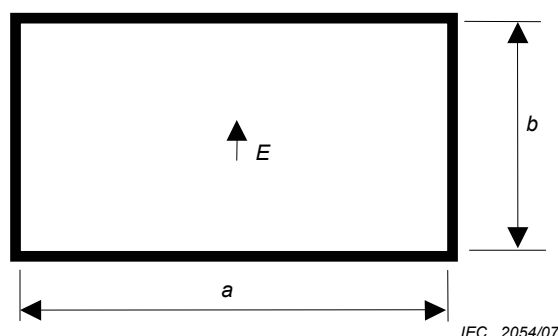


Figure I.11 – Vue en coupe d'une chambre en guides d'ondes

Les laboratoires d'étalonnage doivent assurer que les chambres en guides d'ondes fonctionnent dans leur mode TE_{10} dominant. Les fréquences qui peuvent exciter des modes d'ordre plus élevé doivent être évitées. Les fabricants de guides d'ondes spécifient normalement les gammes de fréquences pour lesquelles seul un mode dominant existe. Ceci peut aussi être déterminé à partir des dimensions du guide d'ondes. L'utilisation des chambres en guides d'ondes est limitée à environ 300 MHz à 1 000 MHz avec des sondes de taille typique.

Pour une chambre en guide d'ondes avec des dimensions intérieures de a (m) x b (m) ($a > b$), la fréquence de coupure du mode TE_{10} dominant est:

$$(f_c)_{10} = \frac{1}{2a\sqrt{\mu\epsilon}},$$

où μ et ϵ sont la perméabilité et la permittivité du support de guide d'ondes. Pour les guides d'ondes remplis d'air, $\mu = \mu_0 = 400\pi \text{ nHm}^{-1}$ et $\epsilon = \epsilon_0 = 8,854 \text{ pFm}^{-1}$. La fréquence de coupure pour une chambre en guide d'ondes remplie d'air est:

$$(f_c)_{10} = \frac{150}{a} \text{ MHz.}$$

Le champ électrique efficace au centre du guide d'ondes est:

$$E = \sqrt{\frac{2\eta_0 P_{\text{net}}}{ab\sqrt{1 - ((f_c)_{10}/f)^2}}} \quad (\text{V/m}),$$

où f (en MHz) est la fréquence de fonctionnement, $\eta_0 = 377 \, \Omega$ pour le guide d'ondes rempli d'air, P_{net} (en W) est la puissance nette fournie au guide d'ondes et elle est déterminée par la méthode décrite en I.4.2.1. Noter que le champ à l'intérieur d'une chambre en guide d'ondes n'est pas une onde TEM et que le champ a la valeur la plus élevée au centre du guide d'ondes (avec une distribution sinusoïdale, qui s'annule sur les murs latéraux). Il est recommandé que les étalonnages de sonde de champ soient réalisés au centre du guide d'ondes où la distribution de champ a moins de variation (est plus uniforme) qu'à d'autres endroits. Pour plus d'informations sur les guides d'ondes y compris sur la manière de calculer les fréquences de coupure pour les autres modes, voir [5].

I.5.3 Etalonnage de sonde de champ utilisant les guides d'ondes à extrémités ouvertes

Une solution analytique et une solution empirique pour le gain en champ proche des guides d'ondes à extrémités ouvertes sont données en [6]. Comme il n'existe pas de solution théorique simple pour le gain en champ proche des guides d'ondes à extrémités ouvertes, il convient de déterminer le gain en champ proche d'un guide d'ondes à extrémités ouvertes soit par des techniques numériques de type pleine onde soit par des techniques de mesure comme cela est décrit en [4].

Une fois le gain en champ proche des guides d'ondes à extrémités ouvertes déterminé, l'étalonnage doit suivre la procédure donnée en I.4.3.

I.5.4 Etalonnage des sondes de champ par méthode de transfert de gain

Une sonde de transfert peut être utilisée pour établir des champs normalisés dans un dispositif de génération de champs (dispositif standard). La réponse de la sonde de transfert peut être déterminée soit par des calculs théoriques (pour les sondes comme les dipôles) soit par les étalonnages effectués selon les méthodes décrites en I.5.1 ou I.5.2. La fonction de transfert du dispositif standard comme une cellule GHz TEM peut être déterminée à partir de la sonde de transfert. Il convient que la distribution de champ dans le dispositif standard soit réglée par la sonde de transfert, c'est-à-dire qu'elle doit être mesurée à autant d'emplacements que nécessaire pour évaluer l'homogénéité de champ dans le volume d'essai. Une fois que la fonction de transfert du dispositif standard est connue, l'étalonnage de la sonde peut être effectué à des niveaux de puissance différents, pourvu que le dispositif standard soit linéaire. Une sonde à étalonner doit être placée au même emplacement que celui où se situait la sonde de transfert.

La méthode de transfert est précise si les conditions suivantes sont satisfaites:

- le montage n'est pas modifié entre les procédures de transfert et d'étalonnage;
- la position de la sonde au cours des mesures est reproduite;
- la puissance émise reste la même;
- la sonde en essai est similaire en construction (taille et conception d'élément) à la sonde de transfert;
- les câbles connectant la tête du capteur et la lecture ne perturbent pas et ne captent pas le champ;
- le dispositif standard est largement anéchoïque.

Les références [7] et [8] fournissent plus d'informations concernant cette méthode.

I.6 Documents de référence

- [1] STUBENRAUCH, C., NEWELL, C. A. C., REPJAR, A. C. A., MacREYNOLDS, K., TAMURA D. T., LARSON, F. H., LEMANCZYK, J., BEHE, R., PORTIER, G., ZEHREN, J. C., HOLLMANN, H., HUNTER, J. D., GENTLE, D. G., and De VREEDE, J. P. M. International Intercomparison of Horn Gain at X-Band. *IEEE Trans. On Antennas and Propagation*, October 1996, Vol. 44, No. 10.
- [2] IEEE 1309, *Calibration of Electromagnetic Field Sensors and Probes, Excluding Antennas, from 9 kHz to 40 GHz*.
- [3] KANDA, M. and KAWALKO, S. Near-zone gain of 500 MHz to 2.6 GHz rectangular standard pyramidal horns. *IEEE Trans. On EMC*, 1999, Vol. 41, No. 2.
- [4] NEWELL, Allen C., BAIRD, Ramon C. and Wacker, Paul F. Accurate measurement of antenna gain and polarization at reduced distances by extrapolation technique. *IEEE Trans. On Antennas and Propagation*, July 1973, Vol. AP-21, No. 4.
- [5] BALANIS, C. A.. *Advanced Engineering Electromagnetics*. John Wiley & Sons, Inc., 1989, pp 363-375.
- [6] WU, Doris I. and KANDA, Motohisa. Comparison of theoretical and experimental data for the near field of an open-ended rectangular waveguide. *IEEE Trans. On Electromagnetic Compatibility*, November 1989, Vol. 31, No. 4.
- [7] GLIMM, J., MÜNTER, K., PAPE, R., SCHRADER, T. and SPITZER, M. *The New National Standard of EM Field Strength; Realisation and Dissemination*. 12th Int. Symposium on EMC, Zurich, Switzerland, February 18-20, 1997, ISBN 3-9521199-1-1, pp. 611-613.
- [8] GARN, H., BUCHMAYR, M., and MULLNER, W. Precise calibration of electric field sensors for radiated-susceptibility testing. *Frequenz* 53 (1999) 9-10, Page 190-194.

Copyright International Electrotechnical Commission

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
P.O. 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

Copyright International Electrotechnical Commission
Provided by IHS under license with IEC
No reproduction or networking permitted without license from IHS