

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

BASIC EMC PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-22:2010



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 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 It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.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

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE

BASIC EMC PUBLICATION

PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

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

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

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XA

ICS 33.100.10; 33.100.20

ISBN 978-2-88912-229-5

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references	8
3 Terms and definitions	9
4 FAR applications	10
4.1 Measurand for radiated immunity testing	10
4.2 Measurand for radiated emission measurements	11
5 FAR validation/calibration procedure	11
5.1 General.....	11
5.2 Validation set-ups.....	11
5.3 Test facility description.....	15
5.3.1 General	15
5.3.2 Test volume.....	15
5.3.3 Broadband antenna	15
5.3.4 Antenna cables.....	15
5.3.5 Set-up table.....	15
5.3.6 Turntable.....	16
5.3.7 Automated antenna polarization changer.....	16
5.3.8 Absorber configuration	16
5.4 Definition of quantities to be determined by the FAR validation procedure.....	16
5.5 Required sampling positions for FAR validation.....	17
5.6 FAR validation procedure	18
5.6.1 General	18
5.6.2 Type 1 validation set-up	18
5.6.3 Type 2 validation set-up	19
5.6.4 Type 3 validation set-up	19
5.6.5 Type 4 validation set-up	20
5.6.6 Calculation of $\bar{C}_{dB}$ and $s_{dB,C}$ for all set-up types	20
5.7 Validation requirement	20
6 Test set-up.....	21
Annex A (normative) Radiated immunity tests	26
Annex B (normative) Radiated emission measurements.....	31
Annex C (informative) Background on the system transducer factor and simultaneous emissions/immunity validation method	34
Annex D (informative) Measurement uncertainties	37
Bibliography.....	50
Figure 1 – Type 1 validation block diagramme	12
Figure 2 – Type 2 validation block diagramme	12
Figure 3 – Type 3 validation block diagramme	13
Figure 4 – Type 4 validation block diagramme	13
Figure 5 – Locations of the sampling points for FAR validation	18
Figure 6 – Example test set-up for table-top equipment	23

Figure 7 – Example test set-up for table-top equipment, top view.....	24
Figure 8 – Example test set-up for floor-standing equipment.....	24
Figure 9 – Example test set-up for floor-standing equipment, top view	25
Figure A.1 – Definition of $d_{\text{measurement}}$ for immunity tests	28
Figure B.1 – Definition of $d_{\text{measurement}}$ for emission measurements.....	32
Figure D.1 – Example of influence factors for emission measurements	37
Figure D.2 – Example of influences upon the immunity test method	44
Table 1 – Components required for the different validation set-up types	15
Table 2 – Validation criteria	21
Table D.1 – Measurement instrumentation uncertainty in a FAR for radiated emission measurements in the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz	38
Table D.2 – Measurement instrumentation uncertainty in a FAR for radiated emission measurements in the frequency range 1 GHz to 18 GHz	39
Table D.3 – Measurement instrumentation uncertainty in a FAR for level setting for immunity testing in the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz	45
Table D.4 – Measurement instrumentation uncertainty in a FAR for level setting for immunity testing in the frequency range 1 GHz to 18 GHz	46

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-22:2010

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

**Part 4-22: Testing and measurement techniques –
Radiated emissions and immunity measurements
in fully anechoic rooms (FARs)**

FOREWORD

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

International Standard IEC 61000-4-22 has been prepared by CISPR subcommittee A: Radio interference measurements and statistical methods, in cooperation with subcommittee 77B: High frequency phenomena, of IEC technical committee 77: Electromagnetic compatibility.

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

Enquiry draft	Report on voting
CISPR/A/912/FDIS	CISPR/A/923/RVD

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

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

A list of all parts of the IEC 61000 series can be found on the IEC website under the general title Electromagnetic compatibility (EMC), and of all parts of the CISPR 16 series under the general title Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods.

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

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

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-22:2010

INTRODUCTION

This standard is part of the IEC 61000 series of standards, 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: Test set-up

Part 9: Miscellaneous

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

This part is an international standard that establishes the required test procedures for using fully anechoic rooms for performing radiated immunity testing and radiated emission measurements.

The main text of this standard provides all information that is common to both radiated emission measurements and immunity tests in a FAR (fully anechoic room). This includes the description of a FAR, a common set-up for equipment under test (EUT), and a harmonized validation/calibration procedure. The test methods described in this standard are based on the harmonized validation/calibration which verifies a FAR as a measurement system, including the room, antenna and associated cables simultaneously. The validation procedure determines a combined transducer factor for a FAR measurement system that is later applied to both emission measurements and immunity tests. If different sets of antennas and/or cables are used for emission measurements and immunity tests the validation/calibration process is performed twice.

Annex A (normative) provides the measurement procedure and any special considerations for performing radiated immunity tests.

Annex B (normative) provides the measurement procedure and any special considerations for performing radiated emission measurements.

Annex C (informative) provides background on the system transducer factor and simultaneous emissions/immunity validation method.

Annex D (informative) provides guidance for calculation of the uncertainty of measurement results obtained using a FAR and instrumentation in accordance with ISO/IEC Guide 98-3 [4]¹⁾.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-22:2010

¹⁾ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

ELECTROMAGNETIC COMPATIBILITY (EMC) –

Part 4-22: Testing and measurement techniques – Radiated emissions and immunity measurements in fully anechoic rooms (FARs)

1 Scope

This part of IEC 61000 considers immunity tests and emission measurements for electric and/or electronic equipment. Only radiated phenomena are considered. It establishes the required test procedures for using fully anechoic rooms for performing radiated immunity testing and radiated emission measurements.

NOTE In accordance with IEC Guide 107 [1], IEC 61000-4-22 is a basic EMC publication for use by product committees of the IEC. As stated in Guide 107, product committees are responsible for determining the applicability of the EMC standards. TC 77 and CISPR and their sub-committees are prepared to cooperate with product committees in the determination of the value of particular EMC tests for specific products.

This part establishes a common validation procedure, equipment under test (EUT) set-up requirements, and measurement methods for fully anechoic rooms (FARs) when both radiated electromagnetic emission measurements and radiated electromagnetic immunity tests will be performed in the same FAR.

As a basic measurement standard, this part of IEC 61000 does not intend to specify the test levels or emission limits to be applied to particular apparatus or system(s). Its main goal is to provide general measurement procedures to all concerned product committees of IEC or CISPR. Specific product requirements and test conditions are defined by the responsible product committees.

The methods described in this standard are appropriate for radiated emission measurements and immunity tests in the frequency range of 30 MHz to 18 GHz.

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.

CISPR 16-1-1:2010, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus*

CISPR 16-1-4:2010, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Ancillary equipment – Radiated disturbances*

IEC 60050-161:1990, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 161: Electromagnetic compatibility*

IEC 60050-394:2007, *International Electrotechnical Vocabulary (IEV) – Part 394: Nuclear instrumentation – Instruments, systems, equipment and detectors*

3 Terms and definitions

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

3.1

ancillary equipment

transducers (e.g. current and voltage probes and artificial networks) connected to a measuring receiver or (test) signal generator and used in the disturbance signal transfer between the EUT and the measuring or test equipment

3.2

associated equipment

AE

apparatus that is not part of the system under test, but needed to help exercise the EUT

3.3

average system transducer factor

$\overline{C}_{dB}$

factor that converts a voltage at the system source/receive termination point to field strength induced or received; this parameter is calculated from the FAR validation data separately for horizontal and vertical polarization

NOTE Average system transducer factor is expressed in dB(1/m).

3.4

calibration

set of operations that establish, under specified conditions, the relationship between values of quantities indicated by a measuring instrument or measuring system, or values represented by a material measure or a reference material, and the corresponding values realized by standards

[IEC 60050-394, 394-40-43]

3.5

forward power

$P_{f,x}$

power to a FAR test system, recorded during the measurement of the field at a single position, x , in the test volume

NOTE Forward power is expressed in watts (W).

3.6

fully anechoic room

FAR

shielded enclosure, the entire internal surface of which is lined with radio-frequency absorbing material (RF-absorber), which absorbs electromagnetic energy in the frequency range of interest

3.7

fully anechoic room test system

FAR test system

test system comprised of a FAR and a means to generate and/or measure electromagnetic fields

NOTE Most typically this is comprised of a FAR, an antenna and other ancillary equipment and cabling.

3.8 measurement distance

$d_{\text{measurement}}$
distance used for EUT measurement/testing and measured from the reference point of the transmit/receive antenna to the periphery of the EUT at its closest point on the measurement axis

NOTE Measurement distance is expressed in metres (m) and is illustrated in Figures A.1 and B.1.

3.9 normalized forward power

$P_{\text{fn},x}$
forward power required to generate an electric field strength of 1 V/m at a position, x , in the test volume

NOTE Normalized forward power is expressed in watts (W).

3.10 polarization

orientation of the electric field vector of a linearly polarized radiated field

3.11 reference distance

$d_{\text{reference}}$
distance at which a limit is specified

3.12 test volume

maximum volume in a FAR in which the EUT and its cabling may be positioned

NOTE See Clause 6 for additional details.

3.13 validation

process of confirming that a finalized instrumentation and control system (hardware and software) complies with all of its functional, performance and interface requirements

[IEC 60050-394, 394-40-42]

3.14 validation distance

$d_{\text{validation}}$
distance used for validation/calibration measurements and measured from the reference point of the transmit/receive antenna to the test volume at its closest point on the measurement axis

4 FAR applications

4.1 Measurand for radiated immunity testing

Most electronic equipment is, in some manner, affected by electromagnetic radiation. This radiation is frequently generated by such general-purpose sources as the small handheld 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 the frequency range covered by this standard, far-field conditions cannot be established in all cases (e.g. at the lower frequencies), and therefore the disturbance quantity simulating the real electromagnetic phenomenon is defined by the quantity “electrical field strength” in this standard.

The measurand to establish the desired disturbance quantity for immunity tests is the electric field strength (carrier) established by using the average system transducer factor $\bar{C}_{dB}$ at $d_{\text{measurement}}$. The measurand is obtained separately for the horizontal and vertical polarizations.

4.2 Measurand for radiated emission measurements

The measurand in a FAR for radiated emission measurements is the field strength radiated by the EUT and obtained at the measurement distance $d_{\text{measurement}}$ by the use of a linearly-polarized antenna and applying the average system transducer factor, $\bar{C}_{dB}$, to the maximum voltage measured at the receive termination point. The measurand is obtained separately for the horizontal and vertical polarizations of the receiving antenna, and expressed as a result at the reference distance, $d_{\text{reference}}$, specified in product standards.

5 FAR validation/calibration procedure

5.1 General

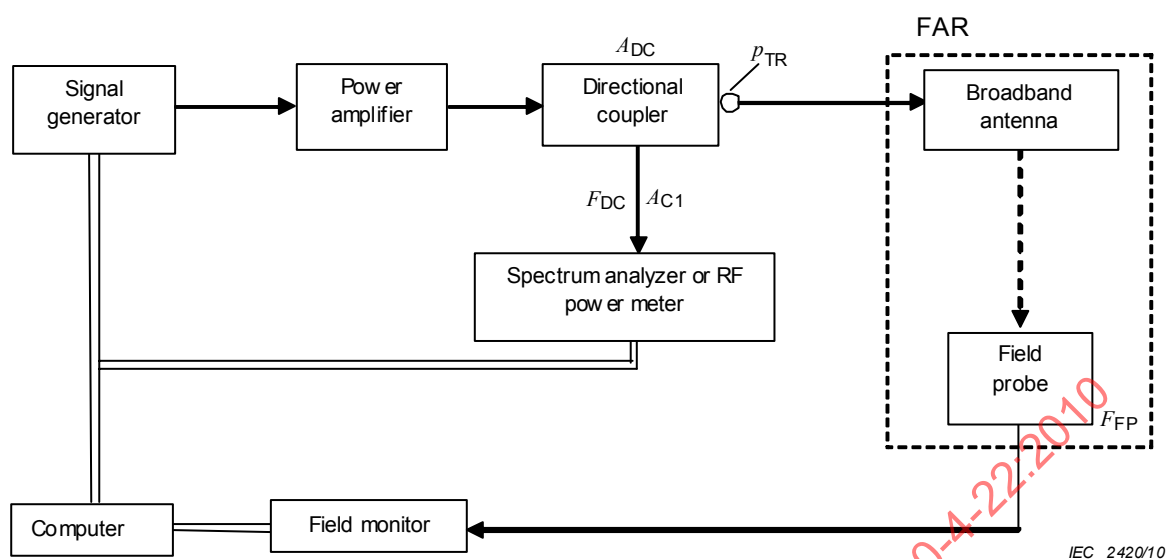
This clause provides the performance requirements and harmonized FAR validation procedure for both radiated emission measurements and radiated immunity tests.

5.2 Validation set-ups

Figures 1 to 4 show block diagrams of set-ups that can be used alternatively for the validation procedure. All set-up variants have a transducer reference point (p_{TR}) for which the average system transducer factor (see 5.4) is determined by the validation process.

The primary instrumentation required for each of these set-ups is summarized in the following bulleted list, and described further in the subsequent lettered list.

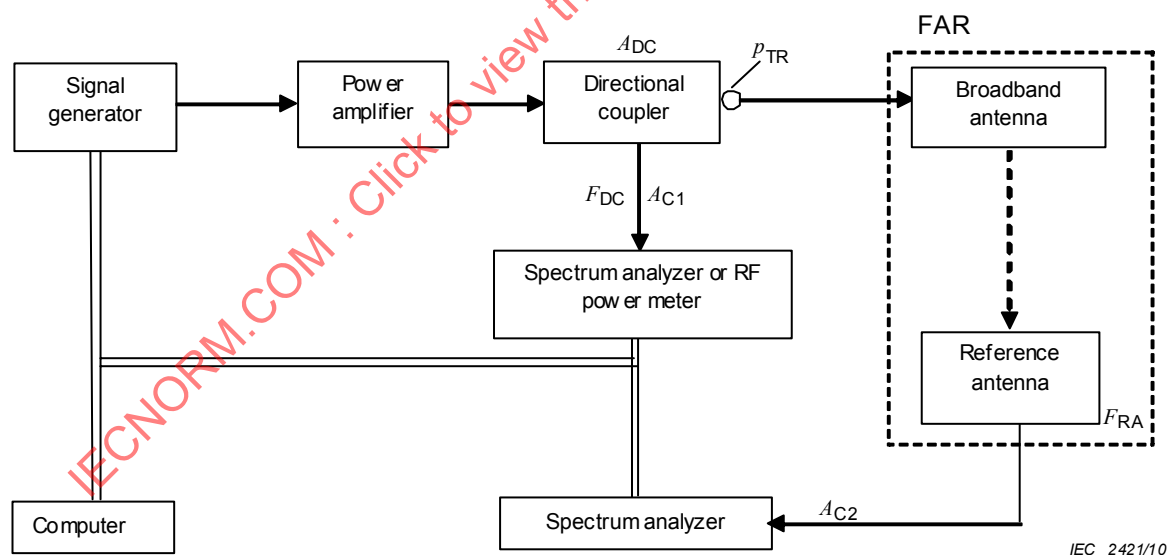
- Type 1 (Figure 1): signal generator, spectrum analyzer or power meter, field probe
- Type 2 (Figure 2): signal generator, spectrum analyzer or power meter, reference antenna
- Type 3 (Figure 3): network analyzer, reference antenna
- Type 4 (Figure 4): network analyzer, power amplifier, reference antenna



Key:

- A_{C1} Attenuation of the cable between the directional coupler and the spectrum analyzer or power meter (dB)
- F_{FP} Calibration factor of the field probe (in linear scale)
- A_{DC} Attenuation of the directional coupler between power input and power output (dB)
- F_{DC} Coupling loss of the directional coupler between power input and forward power output (dB)
- p_{TR} Transducer reference point

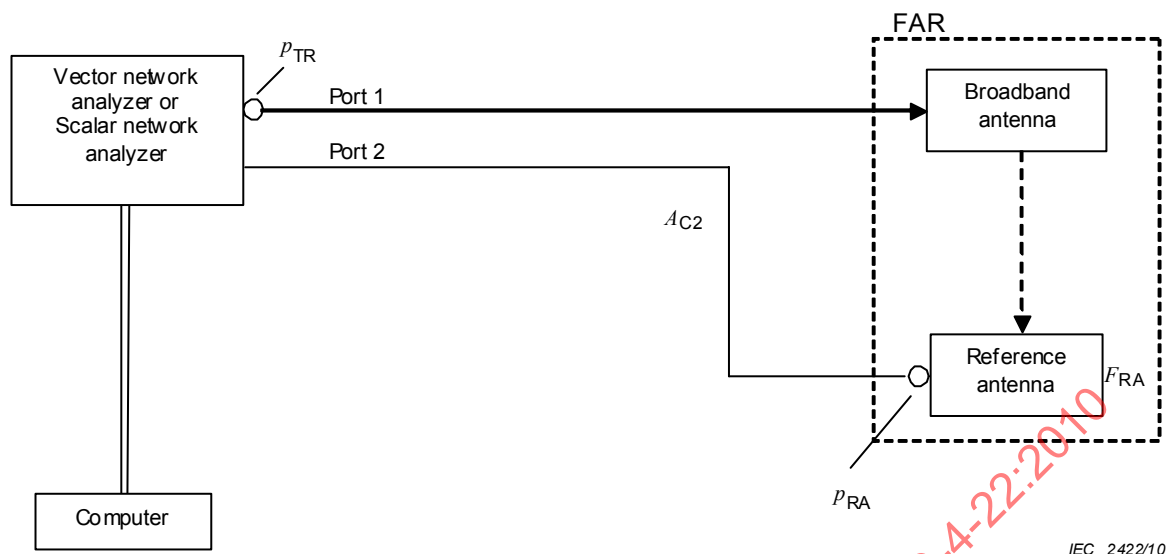
Figure 1 – Type 1 validation block diagramme



Key:

- A_{C1} Attenuation of the cable between the directional coupler and the spectrum analyzer or power meter (dB)
- A_{C2} Attenuation of the cable between the reference antenna and the spectrum analyzer (dB)
- F_{RA} Antenna factor of the reference antenna [dB(1/m)]
- A_{DC} Attenuation of the directional coupler between power input and power output (dB)
- F_{DC} Coupling loss of the directional coupler between power input and forward power output (dB)
- p_{TR} Transducer reference point

Figure 2 – Type 2 validation block diagramme



Key:

F_{RA} Antenna factor of the reference antenna [dB(1/m)]

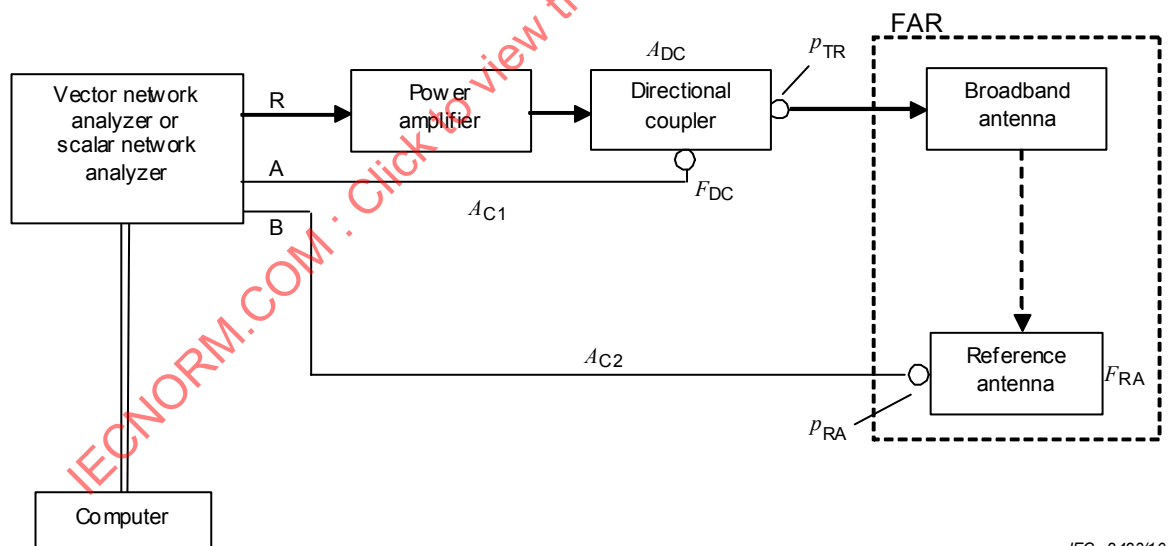
A_{C2} Attenuation of the cable between the reference antenna and the spectrum analyzer (dB)

p_{RA} Reference point of the reference antenna

p_{TR} Transducer reference point

NOTE Alternatively, the attenuation of the cable between the reference antenna and the network analyzer may be determined by normalization of the network analyzer (p_{TR} and p_{RA} are connected for normalization).

Figure 3 – Type 3 validation block diagramme



Key:

A_{C1} Attenuation of the cable between the directional coupler and the spectrum analyzer or power meter (dB)

A_{C2} Attenuation of the cable between the reference antenna and the spectrum analyzer (dB)

F_{RA} Antenna factor of the reference antenna [dB(1/m)]

A_{DC} Attenuation of the directional coupler between power input and power output (dB)

F_{DC} Coupling loss of the directional coupler between power input and forward power output (dB)

p_{TR} Transducer reference point

p_{RA} Reference point of the reference antenna

R,A,B Network analyzer ports – output port R, input ports A and B

Figure 4 – Type 4 validation block diagramme

The following components are part of a FAR validation set-up. A summary list of the components required for the different set-up types is given in Table 1.

a) Fully anechoic room (FAR)

The test volume and the validation distance shall be previously specified according to Figure 5 (see 5.5) and definitions 3.12, 3.14.

b) Broadband antenna

The position of the broadband antenna is fixed in the room.

NOTE 1 The antenna factor normally provided with the antenna is not required because it is determined as part of the FAR test system transducer factor during this validation/calibration.

c) RF power meter, frequency selective voltmeter, or spectrum analyzer

d) Directional coupler

e) Isotropic field probe and monitor

f) Reference antenna

The reference antenna shall conform to the specifications in 5.4.2.3 of CISPR 16-1-4 for the frequency range 30 MHz to 1 GHz and 8.3.3.1 of CISPR 16-1-4 for the frequency range 1 GHz to 18 GHz.

g) Cable to broadband antenna

Routing to the broadband antenna shall be fixed in the installation.

NOTE 2 The loss of the cable to the broadband antenna is determined as part of the FAR system transducer factor during this validation/calibration.

NOTE 3 The cable to the broadband antenna is typically recommended to be installed horizontally from the antenna to the absorbers lined on the back wall, then installed vertically against the absorbers to the floor. This is to minimize the influence of the cable.

h) Other RF cables

The characteristics of other RF cables shall be determined in previous calibration. Any differences between the cables utilized for this calibration and subsequent testing may be separately characterized.

i) Signal source

RF generator, able to produce a stable signal.

j) Power amplifier

The output power shall be monitored during this validation/calibration and during immunity tests (see 5.2 c) and d)). Refer to Annex A for consideration of harmonics and compression characteristics.

k) Scalar or vector network analyzer

Instrument for the measurement of the transfer function between two points (S_{21}) or the ratio of two signals (without bridge).

Table 1 – Components required for the different validation set-up types

Component ¹⁾	Validation set-up ²⁾			
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
a) Fully anechoic room (FAR)	x	x	x	x
b) Broadband antenna	x	x	x	x
c) RF power meter	x	x	–	–
d) Directional coupler	x	x	–	x
e) Isotropic field probe and monitor	x	–	–	–
f) Reference antenna	–	x	x	x
g) Cable to broadband antenna	x	x	x	x
h) Other RF cables	x	x	x	x
i) Signal source	x	x	–	–
j) Power amplifier	x	x	–	x
k) Scalar or network analyzer	–	–	x	x
¹⁾ Letters preceding a component correspond with items detailed in 5.2.				
²⁾ “x” indicates component is required; “–” indicates component is not required.				

5.3 Test facility description

5.3.1 General

For the purposes of FAR validation, the parameters of 5.3.2 through 5.3.8 shall be specified and clearly documented using text descriptions and photographs in the validation report.

5.3.2 Test volume

The test volume is a cylinder that shall encompass the EUT maximum dimensions including its associated cables, as described in Clause 6. The following parameters of the specified test volume shall be clearly defined: diameter of volume, location of the centre of the volume bottom surface, and height.

5.3.3 Broadband antenna

The broadband antenna shall be located at a fixed position outside the test volume within a FAR. The antenna height is typically set to the height of the centre of the test volume. The broadband antenna is used as the receiving antenna for emission measurements and as the transmitting antenna for the validation/calibration tests and subsequent immunity tests. The validation/calibration process shall be performed for each set of antennas (e.g. to cover various frequency ranges) used for either immunity testing or emission measurements.

5.3.4 Antenna cables

Reflections from antenna cables can affect results obtained in FAR testing, so consideration should be given to their design and placement. The lengths of antenna cables located within a FAR and leading to the broadband antenna shall be laid out in the same manner during validation of a FAR as they are during product tests in a FAR. Any ferrites placed on the antenna cable shall be present for both validation testing and subsequent EUT testing.

5.3.5 Set-up table

Set-up tables made from nonconductive and low permittivity materials are recommended. A set-up table that is designed for installation in the test volume and is removable does not need to be in-place during the facility validation described in 5.6. A set-up table that is located

outside of the test volume and always used for EUT tests shall be considered as part of a FAR facility and shall be installed during the validation procedure of 5.6.

5.3.6 Turntable

The recommended minimum facility contains a remotely controlled turntable in the test volume. Validation/calibration of the facility shall be performed with the turntable, power feed and communication cabling in their typical locations, and as used for EUT testing.

5.3.7 Automated antenna polarization changer

A computer-controlled, automated antenna polarization changer is recommended, to reduce test time.

5.3.8 Absorber configuration

The absorber configuration used for the validation test must be the same as will be used for subsequent EUT testing.

5.4 Definition of quantities to be determined by the FAR validation procedure

The quantities to be determined for each sampling position from the FAR validation procedure are as described in this subclause. The system transducer factor, $C_{dB,x}$, in dB(1/m), for a single position denoted by x , is given by:

$$C_{dB,x} = 20 \log(f_{MHz}) - 15 - 10 \log \left(\frac{d_x^2}{P_{fn,x}} \right) \quad (1)$$

where

f_{MHz} is the frequency in MHz;

d_x is the distance between the reference point of the broadband antenna and the reference point of the field probe or reference antenna, in m (see 5.5 for additional details);

$P_{fn,x}$ is the normalized forward power in W, given by:

$$P_{fn,x} = \frac{P_{f,x}}{E_x^2} \quad (2)$$

where

$P_{f,x}$ is the forward power at the transducer reference point p_{TR} in W;

E_x is the corresponding electric field strength at location x in V/m.

NOTE Annex C gives background and rationale about the relationships shown in Equations (1) and (2).

From the individual system transducer factors, $C_{dB,x}$, the average system transducer factor, $\bar{C}_{dB}$, (as defined in 3.3) can be derived using Equation (3):

$$\bar{C}_{dB} = \sum_{x=1}^n \frac{C_{dB,x}}{n} \quad (3)$$

where n is the number of sampling points, as determined according to the procedure of 5.5.

The standard deviation of the collected samples is calculated using Equation (4), and for each antenna polarization separately. This quantity is used for comparison to the validation criteria of 5.7.

$$s_{dB,C} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{x=1}^n (C_{dB,x} - \bar{C}_{dB})^2} \quad (4)$$

The standard deviation of the average system transducer factor, $s_{dB,\bar{C}}$, is calculated using Equation (5), for each antenna polarization. This quantity is important for the estimation of uncertainty for subsequent EUT testing [i.e. see item 8 of D.1.3 and item 9 of D.2.4)].

$$s_{dB,\bar{C}} = \frac{s_{dB,C}}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

5.5 Required sampling positions for FAR validation

For the procedure described in this subclause, the characteristics of a FAR are to be measured at multiple positions in a test volume, and the results expressed as an average system transducer factor and a standard deviation (see 5.4), separately for each antenna polarization (horizontal and vertical).

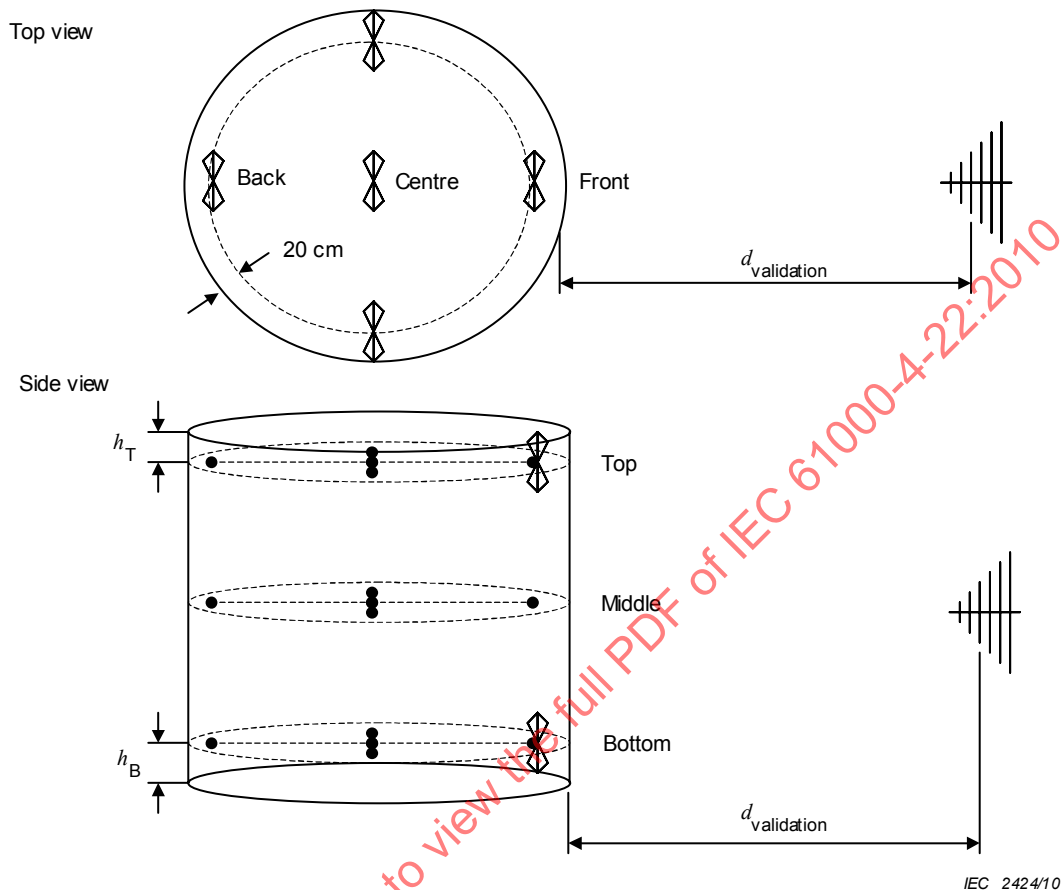
The FAR measurements and validation shall be performed for both horizontal and vertical antenna polarizations at the following positions (see Figure 5):

- a) At three heights of the test volume – bottom, middle and top:
 - 1) bottom height h_B , located at 25 % of the height of the test volume from the bottom. This height shall be a minimum of 20 cm when the test volume height is less than 80 cm, and shall be taken as 50 cm when the test volume height is more than 2 m;
 - 2) top height h_T , located at 25 % of the height of the test volume from the top; this height shall be a minimum of 20 cm when the test volume height is less than 80 cm, and shall be taken as 50 cm when the test volume height is more than 2 m;
 - 3) middle height, located at 50 % of the height of the test volume.
- b) At five positions in all three horizontal planes – centre, left, right, front, and rear positions, in each horizontal plane.

The position in height of the broadband antenna outside of the test volume shall be set and remain fixed at the centre height of the test volume, as shown in Figure 5. The broadband antenna shall not be tilted, i.e. the boresight axis of the broadband antenna shall remain aligned along the primary measurement axis for all measurements. The field probe or reference antenna located in the test volume shall be oriented or tilted to face the broadband antenna. The position of the broadband antenna (including height) shall be the same as will be used later for equipment testing.

The distance between the reference point of the broadband antenna and the front position of the test volume is $d_{\text{validation}}$. Any antenna masts and supporting floors or structures shall be in place during the validation procedure. Note that only the field probe or reference antenna is moved throughout the test volume with this procedure—the broadband antenna is not moved during the validation, therefore the actual separation distance between the broadband antenna and each sampling position, d_x , will vary depending on the sampling position. Note that the actual separation distance shall be recorded for each sampling position, and then used for d_x in Equation (1).

The sampling positions shall be located such that the phase centre of the reference antenna or field probe shall always be a minimum of 20 cm inside the test volume.



NOTE Parameters are described in 5.5. The cylinder formed by the solid lines represents the test volume.

Figure 5 – Locations of the sampling points for FAR validation

5.6 FAR validation procedure

5.6.1 General

Set up the measurement equipment as indicated in Figure 1, Figure 2, Figure 3 or Figure 4. Place the probe or reference antenna at one of the positions illustrated in Figure 5, and set the polarization of the broadband antenna to horizontal.

The specific steps used for each of the four set-up types of 5.2 are detailed in 5.6.2 to 5.6.5. Calculations of the average system transducer factor and standard deviation are covered in 5.6.6.

5.6.2 Type 1 validation set-up

The following steps shall be applied when using a Type 1 validation set-up.

- Set the field probe to a single-axis mode, in order to measure the appropriate polarization.
- Set the signal generator to the first frequency of interest.
- Set the signal generator or amplifier output power to a fixed CW level that will provide a suitable validation field strength E_x . The measurement results are independent of the absolute field strength and/or power level.

NOTE 1 The signal generator and/or amplifier shall be operated at a power level below its maximum output level, to limit the possible influence of harmonics on the measurement results.

d) Record the following parameters:

- power indicated at the power meter measurement point, $P_{f,ind,x}$, in dBm;
- indicated field strength from the isotropic field probe, $E_{ind,x}$, in V/m;
- distance, d_x , between the broadband antenna and the field probe.

e) Step the frequency in increments not to exceed 1 %, and repeat steps c) and d) until the last frequency is reached.

f) Compute the system transducer factor for position x and for each frequency using:

$$C_{dB,x} = 20\log(f_{MHz}) - 15 - 20\log(d_x) + P_{f,ind,x} - 30 + A_{C1} + F_{DC} - A_{DC} - 20\log(F_{FP} \times E_{ind,x}) \quad (6)$$

NOTE 2 The parameters are defined in Figure 1.

g) Repeat steps a) through f) for each sampling position.

h) Repeat steps a) through g) for vertical polarization.

5.6.3 Type 2 validation set-up

The following steps shall be applied when using a Type 2 validation set-up.

a) Set the signal generator to the first frequency of interest.

Set the signal generator or amplifier output power to a fixed CW level that will provide a suitable validation field strength E_x . The measurement results are independent of the absolute field strength and/or power level.

NOTE 1 The signal generator and/or amplifier shall be operated at a power level below its maximum output level, to limit the possible influence of harmonics on the measurement results.

b) Record the following parameters:

- power shown by the power meter, $P_{f,ind,x}$, in dBm;
- indicated voltage from the spectrum analyzer, $V_{ind,x}$, in dB(μV);
- distance, d_x , between the broadband antenna and the reference antenna.

c) Step the frequency in increments not to exceed 1 %, and repeat steps a) and b) until the last frequency is reached.

d) Compute the system transducer factor for position x and for each frequency using:

$$C_{dB,x} = 20\log(f_{MHz}) - 15 - 20\log(d_x) + P_{f,ind,x} - 30 + A_{C1} + F_{DC} - A_{DC} - E_{ind,x} \quad (7)$$

where

$$E_{ind,x} = V_{ind,x} + A_{C2} + F_{RA} - 120 \quad (8)$$

NOTE 2 The parameters are defined in Figure 2.

e) Repeat steps a) through d) for each sampling position.

f) Repeat steps a) through e) for vertical polarization.

5.6.4 Type 3 validation set-up

The following steps shall be applied when using a Type 3 validation set-up.

a) Prior to the measurement, do a normalization of the network analyzer.

b) Set the start and stop frequency of the network analyzer. The frequency stepping shall be:

- For 30 MHz to 80 MHz: $f_{step} \leq 1 \text{ MHz}$.
- For 80 MHz to 500 MHz: $f_{step} \leq 2 \text{ MHz}$.

- For 500 MHz to 1 GHz: $f_{\text{step}} \leq 5 \text{ MHz}$.
 - For 1 GHz to 18 GHz: $f_{\text{step}} \leq 50 \text{ MHz}$.
- c) Measure and record $S_{21,x}$, in dB.
- d) Compute the system transducer factor for position x and for each frequency:

$$C_{\text{dB},x} = 20\log(f_{\text{MHz}}) - 32 - 20\log(d_x) - S_{21,x} - A_{\text{C2}} - F_{\text{RA}} \quad (9)$$

NOTE The parameters are defined in Figure 3.

- e) Repeat steps a) through d) for each sampling position.
- f) Repeat steps a) through e) for vertical polarization.

5.6.5 Type 4 validation set-up

The following steps shall be applied when using a Type 4 validation set-up.

- a) Prior to the measurement, perform a normalization of the network analyzer.
- b) Set the start and stop frequency of the network analyzer. The frequency stepping shall be:
- For 30 MHz to 80 MHz: $f_{\text{step}} \leq 1 \text{ MHz}$.
 - For 80 MHz to 500 MHz: $f_{\text{step}} \leq 2 \text{ MHz}$.
 - For 500 MHz to 1 GHz: $f_{\text{step}} \leq 5 \text{ MHz}$.
 - For 1 GHz to 18 GHz: $f_{\text{step}} \leq 50 \text{ MHz}$.
- c) Select an output power of the network analyzer that will provide a suitable validation field strength E_x . The measurement results are independent of the absolute field strength and/or power level.
- d) Measure and record the signal ratio B/A ($R_{\text{BA},x}$, in dB).
- e) Compute the system transducer factor for position x and for each frequency:

$$C_{\text{dB},x} = 20\log(f_{\text{MHz}}) - 32 - 20\log(d_x) - R_{\text{BA},x} + A_{\text{C1}} + F_{\text{DC}} - A_{\text{DC}} - A_{\text{C2}} - F_{\text{RA}} \quad (10)$$

NOTE The parameters are defined in Figure 4.

- f) Repeat steps a) through e) for each location.
- g) Repeat steps a) through f) for vertical polarization.

5.6.6 Calculation of $\bar{C}_{\text{dB}}$ and $s_{\text{dB},C}$ for all set-up types

For each polarization and frequency, calculate the average system transducer factor using Equation (3), and the standard deviation of the collected samples using Equation (4).

5.7 Validation requirement

The FAR validation requirement is based on the standard deviation of the sampled system transducer factors. The standard deviation $s_{\text{dB},C}$ for each polarization shall satisfy the criteria listed in Table 2.

Table 2 – Validation criteria

Frequency range	Validation criteria
30 MHz to 1 GHz	$s_{dB,C} \leq 1,8$ dB for all 15 sampling points
1 GHz to 18 GHz	$s_{dB,C} \leq 1,8$ dB for all 15 sampling points OR both of the following criteria shall be met: $s_{dB,C} \leq 3$ dB for all 15 sampling points and $s_{dB,C} \leq 1,8$ dB for the 10 points in the top and middle planes of the test volume

The validation is applicable as long as the test set-up used remains unchanged for subsequent EUT testing. Therefore the validation set-up (antenna, absorber set-up, cables, etc.) shall be fully documented.

6 Test set-up

Tests shall be performed with the EUT configured as closely as possible to its typical, practical end-use operating conditions. Unless stated otherwise, cables and wiring shall be as specified by the manufacturer, and the equipment shall be within its housing (or cabinet) with all covers and access panels in place. Any deviation from normal EUT operating conditions shall be fully described in the test report. When possible, the EUT set-up per manufacturer's specifications shall take precedence. The set-up is to be documented in the test report.

The set-up table height for table-top equipment or floor-standing equipment is not limited, provided that the equipment under test is entirely located within the test volume and the cable layout satisfies the following requirements.

- a) Interface cables, loads, and devices should be connected to at least one of each type of the interface ports of the EUT and, where practical, each cable shall be terminated in a device typical for its actual use. Where there are multiple interface ports of the same type, a typical number of these ports shall be connected to devices or loads. It is sufficient to connect only one of the loads, provided that it can be shown, for example by preliminary testing, that the connection of further ports would not significantly increase the level of disturbance (that is, more than 2 dB) or significantly degrade the immunity level. The rationale for the configuration and loading of ports shall be documented in the test report.

The number of additional cables should be limited to the condition where the addition of another cable does not decrease the margin by 2 dB with respect to the limit.

NOTE In some cases the optimum arrangement of features, loads, interface types, and cables for emissions and immunity tests are different, which may result in the need for some reconfiguration of the EUT within the confines of the uniform EUT arrangement.

The cable layout and termination shall be according to the following requirements:

- 1) When a specific cable arrangement is required by the manufacturer installation instructions, the cables shall be routed in accordance with the installation requirements. When not specified, or in cases when the cables may be routed generally, the cables shall be oriented so that vertically and horizontally polarized radiation are not excluded.
- 2) A minimum cable length of 1,0 m shall be routed in the test volume (unless the manufacturer's specifications require shorter cables). Excess cable lengths shall be bundled in the approximate centre of the length of the cable to form a bundle 30 cm to

40 cm in length. If no information is provided by the manufacturer about typical cable layout for normal use, the following arrangement shall be applied:

- i) For a table-top EUT (Figures 6 and 7), the cables leaving the test volume (that is, those that connect the EUT to the “outside world”) shall be exposed to the electromagnetic field for a total length of at least 1 m.
 - ii) For a floor-standing EUT (Figures 8 and 9), cables leaving the test volume shall be arranged with a length of at least 0,3 m run horizontally within the test volume, and with a vertical run according to typical, normal use (depending on the height of the I/O port above the bottom of the test volume).
- b) Cables not connected to another device may be terminated as follows:
- 1) Coaxial shielded cables shall be terminated with a coaxial termination (usually 50 Ω or 75 Ω).
 - 2) Shielded cables with more than one inner conductor should have common and differential mode terminations according to the EUT manufacturer's specifications. The common mode termination shall be connected appropriately between the inner conductors, or their differential mode termination, and the cable shield.
 - 3) Unshielded cables shall have differential mode termination according to the manufacturer's specifications.
- c) The following additional items shall be considered for the EUT set-up:
- 1) If the EUT needs associated equipment (AE, see definition 3.2) to operate properly, special care shall be taken to ensure that AE does not affect either radiated emission measurements nor radiated immunity tests. AE may be located outside the FAR during testing, if proper connecting interfaces are available on the room shielding. Measures to prevent RF-signal leakage into or out of the FAR through interconnection cable(s) may be necessary.
- NOTE 2 A device that simulates a telecommunications network is an example of AE. AE may be physically located outside the test environment.
- 2) Other methods or equipment used to suppress unwanted emissions from AE shall be located outside the test room.
 - 3) The test set-up, including cable layout, specifications of attached cables and terminations, and other measures taken to suppress emissions from ancillary equipment outside the test volume, shall be clearly described in the test report.
 - 4) The EUT perimeter is drawn between the components of the EUT that are located in the test volume, i.e. where the validation requirement is satisfied. The EUT perimeter shall include the connecting cables between EUT components, but cables that leave the test volume shall not be considered as part of the EUT perimeter. Cables that leave the test volume must fulfil the layout requirements described in this subclause.

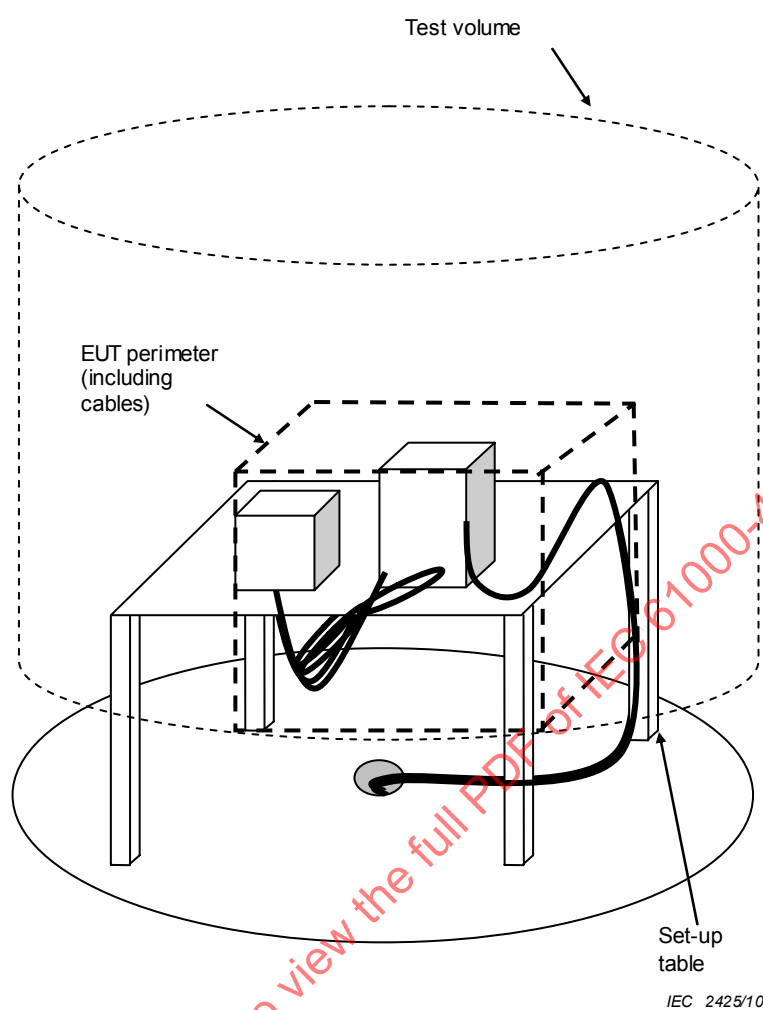


Figure 6 – Example test set-up for table-top equipment

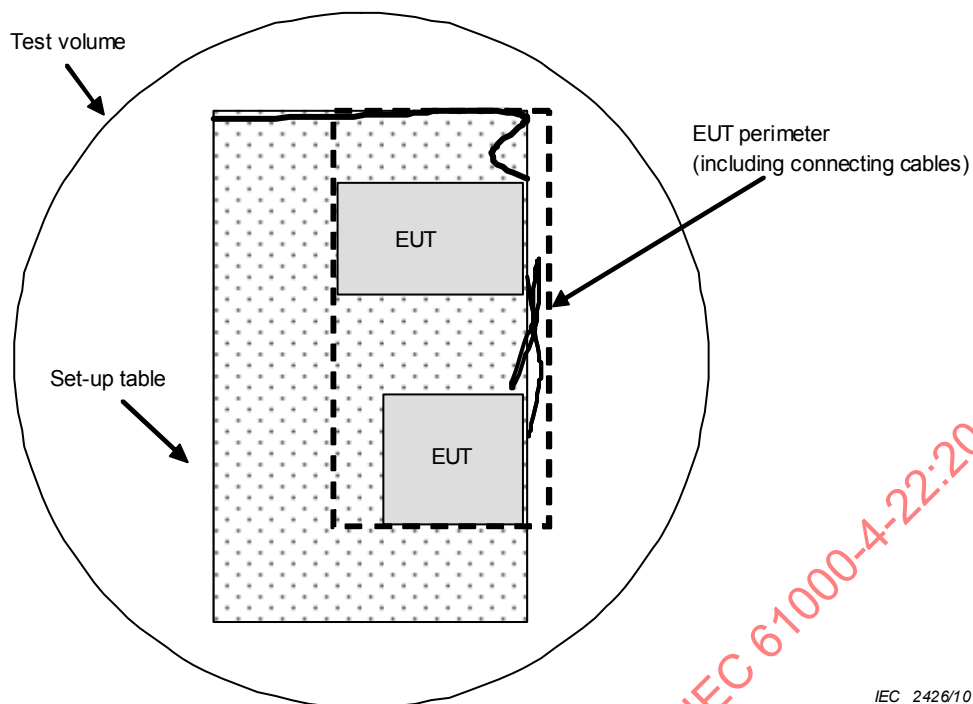


Figure 7 – Example test set-up for table-top equipment, top view

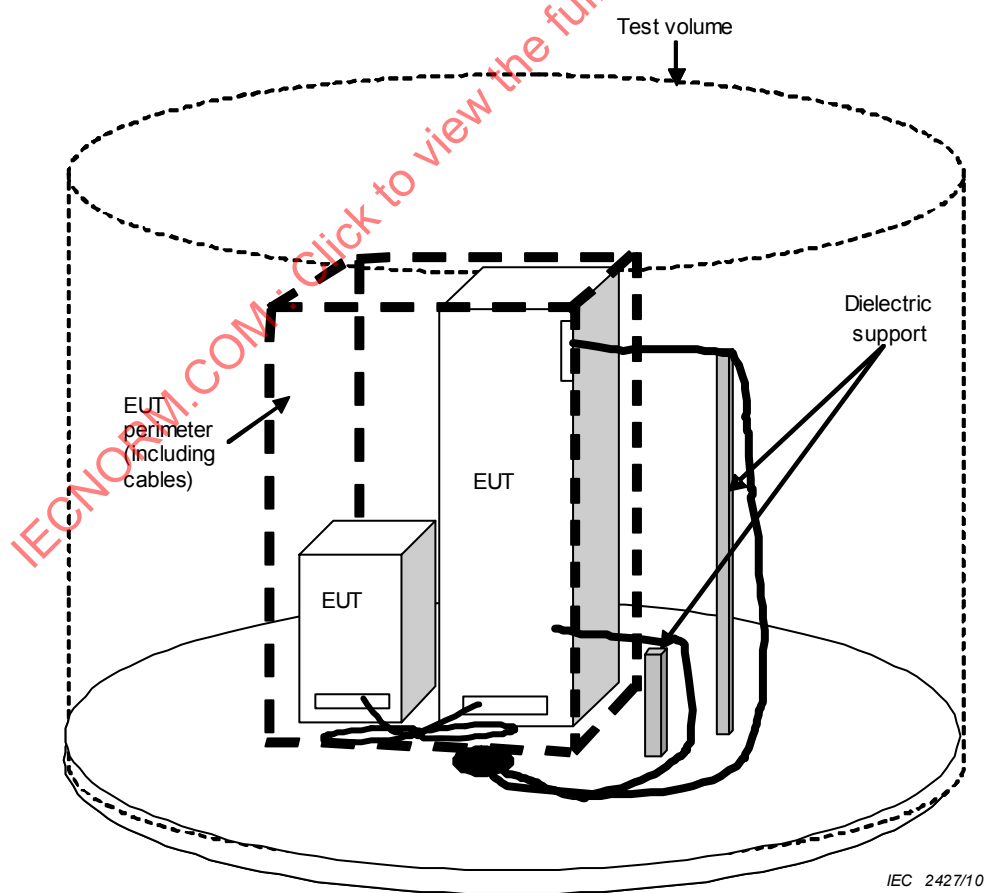
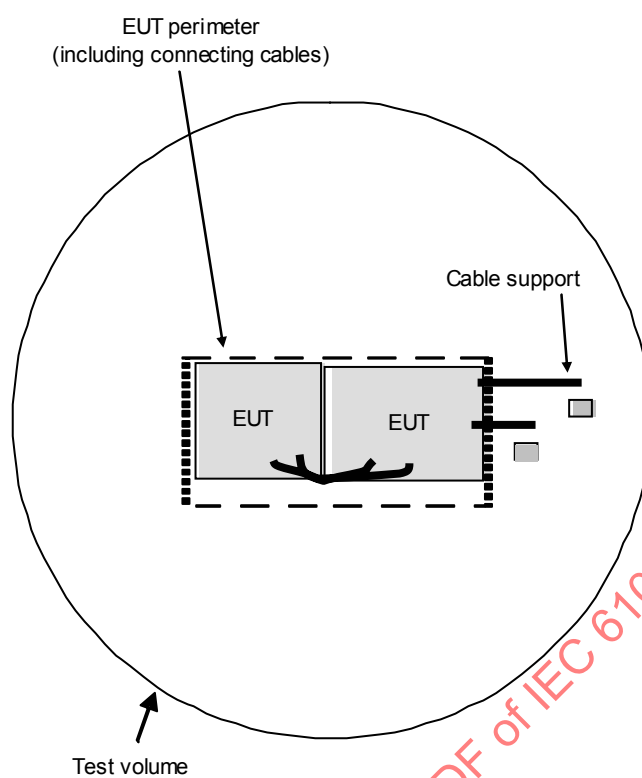


Figure 8 – Example test set-up for floor-standing equipment



IEC 2428/10

Figure 9 – Example test set-up for floor-standing equipment, top view

Annex A (normative)

Radiated immunity tests

A.1 General

This annex describes the procedures for performing radiated immunity tests in a FAR.

A.2 Test equipment

The equipment used for immunity tests is shown in Figures 1 and 2 (see 5.2). The field probe or reference antenna is not needed for immunity tests. Other specific parameters are given in the following list.

- *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 %, or the modulation specified by the product standard.
- *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 produced in a FAR at each harmonic frequency shall be at least 6 dB below that of the fundamental frequency.
- *EMC filters*: may be placed between power amplifier and directional coupler to avoid problems caused by harmonics. Care shall be taken to ensure that the filters introduce no additional resonance effects on the connected lines.
- *Directional coupler*: needed to measure the forward power to the antenna and reverse power from the antenna. Normally only the forward power is used for validation/calibration as well as for immunity tests. Nevertheless, it is meaningful to measure also the reverse power in order to detect missing or bad connections to the antenna.
- *Forward and reverse power meter or spectrum analyzer*: used in connection with the directional coupler to measure forward and reverse power.
- *Broadband antenna(s)*: biconical, log periodic, horn or any other linearly polarized antenna system capable of satisfying frequency requirements.

To monitor the EUT during the test, additional equipment shall be used as necessary. Suitable equipment for monitoring includes:

- Video system;
- Microphone system;
- Probe for voltages and/or currents;
- Probe for digital signals (e.g. RS232, RS485, CAN, Ethernet).

Care shall be taken that the monitoring equipment will not be influenced by the electromagnetic field produced in a FAR, and that it does not influence the behaviour of the EUT. Optical fibre or cables with sufficient common-mode RF decoupling are highly recommended for the signal transmission. Monitoring equipment should be placed outside of a FAR, if at all possible.

A.3 Quick saturation check procedure

This quick check sequence shall be performed to determine that the amplifier saturation is sufficiently low. This procedure shall be performed at least once during the validation procedure.

NOTE This check needs to be performed only for the highest test level.

- a) Prepare the immunity test set-up as shown in Figure 1 or Figure 2 (see 5.2) starting with horizontal polarization of the broadband antenna.
- b) Set the signal generator to the first test frequency.
- c) Calculate the necessary forward power $P_{f,t,dBm}$ (at the transmit reference point) from the average system transducer factor:

$$P_{f,t,dBm} = 45 + 20\log(E_t) + 20\log(d_{\text{measurement}}) - 20\log(f_{\text{MHz}}) + \bar{C}_{dB} \quad (\text{A.1})$$

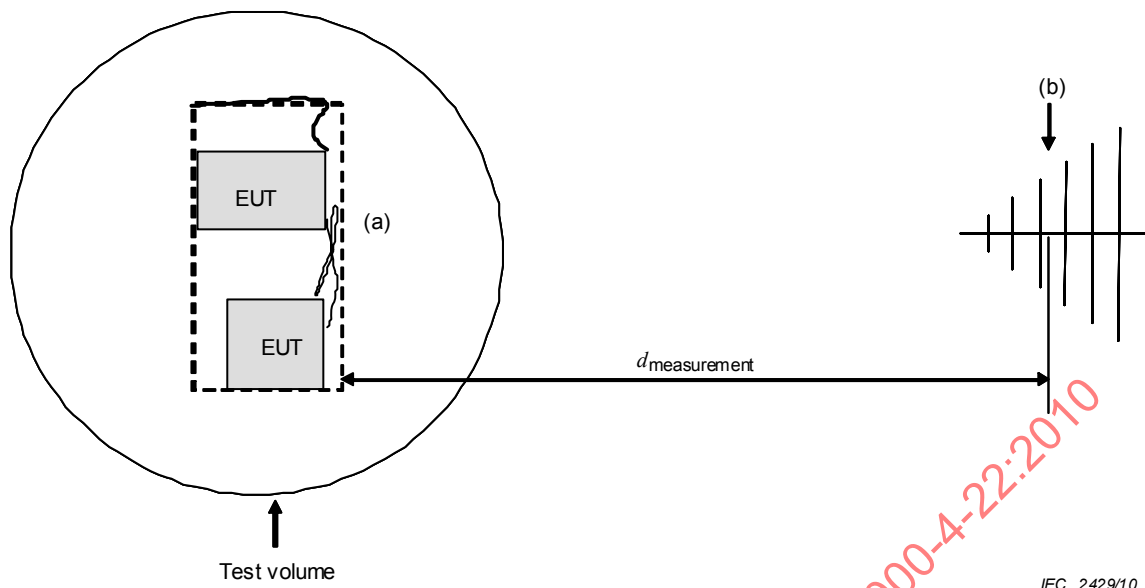
where

- | | |
|--------------------------|--|
| E_t | is the field strength intended as test level for the immunity test in V/m; |
| $d_{\text{measurement}}$ | is the distance between broadband antenna reference point and the nearest face of the EUT in m (see Figure A.1); |
| f_{MHz} | is the frequency in MHz; |
| $\bar{C}_{dB}$ | is the average system transducer factor (in dB/m) determined by the validation procedure. |

The forward power is the power injected into the transducer reference point (p_{TR} , see Figures 1 and 2, in 5.2). To adjust the instrumentation to that injection power, the attenuation of the cables, coupling of the directional coupler, etc. need to be taken into account.

Because the required forward power is maximum for the smallest EUT (largest $d_{\text{measurement}}$), the saturation check should be performed considering this worst-case situation.

- d) Set the RF generator output power until the power meter reading corresponds to the desired forward power calculated in step c), within a certain tolerance band. Immunity test control software typically does this step automatically.
- e) Record the power meter reading.
- f) Increase the RF generator output by 5,1 dB (this takes into account the increase of the peak envelope power of an 80 % AM modulated signal).
- g) Record the power meter reading and determine the difference from the power meter reading in step e). If this difference is within the interval 3,1 dB to 7,1 dB, the amplifier saturation is deemed to be acceptable. If the difference is less than 3,1 dB, or more than 7,1 dB, the amplifier is not suitable to produce the desired test field strength.
- h) Increment the frequency by 1 % and repeat steps c) to g) until the last frequency has been reached.
- i) Repeat steps b) to h) for vertical polarization of the broadband antenna.



IEC 2429/10

Key

- (a) EUT periphery nearest face, including cables
- (b) Broadband antenna reference point

Figure A.1 – Definition of $d_{\text{measurement}}$ for immunity tests

A.4 Test procedure

A.4.1 General

The test shall be carried out on the basis of a test plan that shall include the relevant operating modes and verification of the performances of the EUT, as defined in the technical specification

The EUT shall be arranged as described in Clause 6, and shall be in one of the operating modes defined in the test plan.

A.4.2 Level setting process

The necessary forward power $P_{f,t,dBm}$ (rms, carrier, at p_{TR}) to produce the test field strength, E_t , for each individual frequency, shall be calculated from the average system transducer factor $\bar{C}_{dB}$, i.e. using

$$P_{f,t,dBm} = 45 + 20 \log(E_t) + 20 \log(d_{\text{measurement}}) - 20 \log(f_{\text{MHz}}) + \bar{C}_{dB} \quad (\text{A.2})$$

where $d_{\text{measurement}}$ is the distance between the reference point of the antenna to the nearest face of the EUT.

The control equipment shall set the RF generator such that the calculated forward power is reached within a power tolerance range.

NOTE 1 This power tolerance range is normally specified by the test engineer. It is a compromise between uncertainty (see Annex D) and time needed to exactly establish the necessary power.

The EUT is successively illuminated at four faces by rotation of the EUT. If it is intended that the EUT be operated in other orientations, the illumination shall also include the bottom and top faces of the EUT.

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

The frequency ranges to be considered are swept or scanned with the signal modulated (AM 80 % with 1 kHz sine wave, or as specified in the product standard), pausing to set the RF signal level or to switch signal generators and antennas as necessary. Where the frequency range is stepped 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 polarization of the field generated by each antenna necessitates testing each EUT face 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 evaluate all the critical exercise modes selected for the immunity test, as stated in the test plan.

The use of special exercising programmes is recommended. These programmes (or reference to controlled programme descriptions) shall be documented in the test report.

A.4.3 Test plan

The test plan shall specify the following items:

- size of the EUT;
- representative operating modes of the EUT;
- type(s) and number of interconnecting cables used, and the interface port (of the EUT) to which these are to be connected;
- performance criteria;
- description of the method used to monitor the EUT;
- frequency range, dwell time and frequency steps;
- test level to be applied.

A.4.4 Evaluation of test results

The test results shall be classified in terms of the loss of function or degradation of performance of the EUT, relative to a performance level defined by its manufacturer or the requester of the test, or as 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, requester 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, due to damage to hardware or software, or loss of data.

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

This classification may be used as a guideline for 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.

A.5 Test report

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

- items specified in the test plan required by A.4.3;
- identification of the EUT and any associated equipment, for example, brand name, product type, serial number;
- any specific conditions necessary to enable the test to be performed;
- any specific conditions of use, for example cable length or type, shielding or grounding, or EUT operating conditions, which are required to achieve compliance;
- complete description of the cabling and equipment position and orientation (this can be accomplished using photographs of the arrangement);
- performance level defined by the manufacturer, requester 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;
- a clear statement as to whether the EUT is judged to pass or fail, and rationale for the pass or fail decision (based on the performance criterion specified in the generic, product or product-family standard, or agreed between the manufacturer and the purchaser);
- identification of the test equipment, for example, brand name, product type, serial number;
- any special environmental conditions under which the test was performed.

Annex B (normative)

Radiated emission measurements

B.1 General

This annex provides details for radiated emission measurement methods in a FAR.

B.2 Test equipment

The equipment used for the test is a FAR test system as used for a FAR validation done using the procedure of Clause 5, except that power amplifiers are not required for emission measurements. The measurement receiver used for emission measurements shall comply with CISPR 16-1-1.

The following equipment is required for emission measurement:

- a spectrum analyzer or receiver conforming to CISPR 16-1-1;
- a broadband antenna, cabling and FAR, as utilized during the determination of the average system transducer factor, $\bar{C}_{dB}$.

The measurement result (field strength) is calculated as:

$$E_{dB(\mu V/m)} = V_{pTR,dB(\mu V)} + \bar{C}_{dB} + 20 \log \left(\frac{d_{\text{measurement}}}{d_{\text{reference}}} \right) \quad (\text{B.1})$$

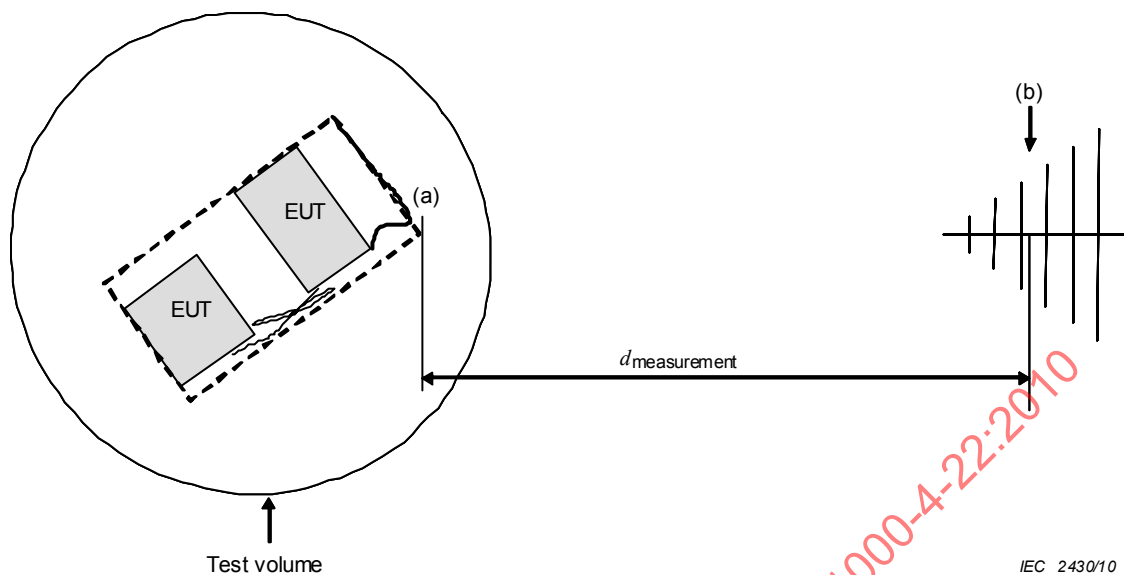
where

$V_{pTR,dB(\mu V)}$ is the voltage at the transducer reference point, p_{TR} (see Figures 1, 2, 3 and 4) in dB(μV);

$d_{\text{measurement}}$ is the distance between reference point of the antenna to the nearest face of the EUT (see Figure B.1);

$d_{\text{reference}}$ is the measurement distance as specified in the product standard.

Note that the average system transducer factor includes cable loss, antenna factor, and the average site influence as determined during the validation/calibration process, but does not include loss/gain of any equipment not used during the common emissions/immunity validation/calibration procedure. Thus, it may be necessary to further correct the reading for additional associated cabling or switches, including a broadband preamplifier where used for emissions tests, if these components were not included during the determination of $\bar{C}_{dB}$.



Key

- (a) EUT periphery nearest point, including cables
- (b) Broadband antenna reference point

Figure B.1 – Definition of $d_{\text{measurement}}$ for emission measurements

B.3 Test procedure

B.3.1 Preliminary measurement procedure

Preliminary testing shall be used to determine the frequencies of interest for which the final test procedures of B.3.2 will apply. Preliminary testing shall also be used to investigate various modes of operation and available EUT configurations to determine the one that will produce the maximum emissions and therefore will be used for final measurements.

NOTE Because the actual preliminary procedure required may depend on the EUT characteristics, the following recommendations a) through e) are informative and intended to provide guidance for a preliminary measurement procedure. Guidelines for a preliminary measurement procedure to identify the frequencies and worst-case modes of operation for radiated emissions are as follows:

- a) Use scan or sweep mode over the complete frequency range of the antenna using peak detection and Max Hold mode.
- b) Determine the proper sweep or scan time to ensure adequate signal interception.
- c) If necessary, during preliminary tests, reduce the resolution bandwidth in sweep mode to reduce the displayed noise level of the spectrum analyzer or receiver. Note that this may reduce the amplitude of broadband emissions, so additional investigations to determine whether the emissions are broadband or narrowband may be necessary.
- d) Rotate the EUT continuously or in stepped increments, and then repeat for the other polarization. The EUT should be investigated throughout 360° in azimuth.
- e) To further evaluate the emission frequencies identified, use a smaller frequency span and investigate around frequencies near the limit using additional smaller turntable increments.

The preliminary measurement procedure selected provides a basis for the frequency selection and determination of worst-case EUT modes. This procedure typically requires setting a threshold below the applicable specification limit, based on the applied preliminary measurement procedure and performing final measurements on all frequencies that are at or above this threshold. For example, if the preliminary procedure typically provides results

within 10 dB of the final measurement procedure, then all frequencies within 10 dB of the limit shall be investigated using the final measurement procedure

B.3.2 Final measurement procedure

In the final measurement procedure, the measuring receiver is tuned to the frequencies determined by the preliminary measurements. The final measurement takes place at the azimuth angle with the highest measurement receiver indication.

NOTE If the signals to be measured are broadband in nature, drifting, or do not have sufficient frequency stability, additional measures may have to be taken to ensure the proper capturing of the maximum amplitudes of emissions. Re-tuning of the test instrument may be required for the final measurement.

B.4 Test report

The test report shall detail the following for the radiated emission measurement:

- a) EUT configurations and modes of operation that were investigated during the preliminary procedure;
- b) preliminary measurement procedure;
- c) threshold and procedures used for selection of frequencies to perform final measurements;
- d) final measurement procedure;
- e) report of final measurements to include:
 - 1) the frequency and amplitude of each emission reported;
 - 2) the detector used;
 - 3) the applicable limit by frequency and detector type;
 - 4) the azimuth of the turntable for each emission;
 - 5) the measurement distance;
 - 6) the antenna polarization;
- f) maximum measured emissions in dB(μ V/m).

Annex C (informative)

Background on the system transducer factor and simultaneous emissions/immunity validation method

C.1 Relationship between radiated emissions and immunity facility validation methods

To illustrate the direct relationship between traditional normalized site attenuation (NSA) validation of emissions test facilities and the "uniform plane" calibration method of [2] one may begin with the equation for NSA, A_N , based on [5]:

$$A_N = \frac{V_{\text{direct}}}{V_{\text{site}}} \times \frac{1}{F_{\text{Antenna},1}} \times \frac{1}{F_{\text{Antenna},2}} \quad (\text{C.1})$$

where

- A_N is the NSA;
- V_{direct} is the voltage that appears on a spectrum analyzer or receiver with the feed cables connected together;
- V_{site} is the voltage that appears when transmitting antenna to antenna;
- $F_{\text{Antenna},1}$ and $F_{\text{Antenna},2}$ are the antenna factors used for the NSA measurement, which must be previously determined.

Through the relationship of power and voltage, V_{direct} can be rewritten as follows, assuming a matched source, line impedance and load impedance:

$$V_{\text{direct}} = \sqrt{P_F R_L} \quad (\text{C.2})$$

where

- P_F is the forward power presented to the calibration point;
- R_L is the load impedance of the receiver or spectrum analyzer, usually 50 Ω .

By definition of antenna factor, V_{site} can also be rewritten as:

$$V_{\text{site}} = \frac{E}{F_{\text{Antenna},2}} \quad (\text{C.3})$$

where

- E is the electric field (in V/m) presented to antenna number 2 (the receive antenna);
- $F_{\text{Antenna},2}$ is the free space antenna factor of the receive antenna.

Substituting Equations (C.2) and (C.3) into Equation (C.1), the following expression is obtained:

$$A_N = \frac{\sqrt{P_F R_L}}{E/F_{\text{Antenna},2}} \times \frac{1}{F_{\text{Antenna},1}} \times \frac{1}{F_{\text{Antenna},2}} \quad (\text{C.4})$$

from which it is observed that $F_{\text{Antenna},2}$ may be cancelled, and therefore two antennas with previously determined antenna factors are not required to measure NSA if forward power and E -field can be observed. It is noted at this point that this is a basis for the method used in the IEC 61000-4-3 [1] uniform plane calibration; i.e. which uses a single antenna for transmitting, a measurement of electric field generated in the area to be occupied by the EUT, and measurement of the forward power required to generate this field. If desired, Equation (C.4) can be employed directly to obtain NSA, if a single previously known antenna factor ($F_{\text{Antenna},1}$) is provided in addition to the E -field and forward power measurement data.

C.2 Determination of system gain and transducer factor, C_{dB}

The proposed method of simultaneous validation/calibration contained in IEC 61000-4-22 illustrates that the requirement for any previously determined antenna factors can be eliminated if the antenna, test facility, and feed cables are considered together as a free-space measurement system, and referenced to the results that would be obtained for an ideal free-space environment.

As a basis for the proposed harmonization of site validation methods, the ideal far-field free-space characteristics of an isotropic source are taken as the baseline reference. Note that this is very similar to the ideal, short dipole radiation pattern used for the development of NSA. In this case the general relationship between electric field, E (in V/m), and power density, P_D (in W/m²), is as follows:

$$E^2 = P_D Z_0 \quad (\text{C.5})$$

where Z_0 is the free space impedance of approximately $120\pi \Omega$.

The power density from a spherical, isotropic source is related to the transmit forward power, P_F (in W), of the source as:

$$P_D = \frac{P_F}{4\pi d^2} \quad (\text{C.6})$$

where d is the distance in m from the source.

The power density of a source, with gain over isotropic, by definition of gain is then as follows:

$$P_D = \frac{P_F}{4\pi d^2} \times G \quad (\text{C.7})$$

where G is the numeric power gain.

Substituting Equation (C.7) for P_D into Equation (C.5) and converting to decibels, one can define a system gain G (in dBi) for the free-space measurement system referenced to the feed point where the forward power, P_F , was monitored during the validation/calibration:

$$G_{\text{dBi}} = 10 \log \left(\frac{E^2 d^2}{30 P_F} \right) \quad (\text{C.8})$$

The corresponding system transducer factor, C_{dB} , utilized in IEC 61000-4-22, can be computed from the system gain as follows (in decibel form):

$$C_{dB} = 20 \log(f_{MHz}) - 29,77 - G_{dBi} \quad (C.9)$$

It is noted that the above system transducer factor, C_{dB} , is equivalent in usage to the antenna factor provided in Equation (C.3), and may be used to convert a voltage on a receiver or spectrum analyzer to the electric field, E . As such the system transducer factor, C_{dB} , may be considered a new type of “antenna factor” that is inclusive of the additional FAR measurement system components (such as feed cabling), as established by the IEC 61000-4-22 procedure.

Traditionally the term “antenna factor” has been used for a quantity relative to a reference point directly on the antenna. Therefore, the JTF elected to use the notation C_{dB} for the conversion of gain over isotropic (G_{dBi}) to a system transducer factor [Equation (C.9)] in order to avoid confusion with manufacturer-provided antenna factors which do not include the additional FAR system components.

References [5], [6] and [7] provide additional background for derivation of the commonly used Equation (C.9) for antenna factor from Equation (C.8) for gain.

C.3 Statistical considerations

Equations (C.8) and (C.9) provide the system gain and transducer factor at a single location. Because the actual gain and transducer factor may vary over the test volume, IEC 61000-4-22 employs the average value, as determined using the validation/calibration procedure.

The process to measure multiple positions in the test volume should ideally produce the same result for system gain and transducer factor at each position after correction for distance changes. Because the result for a real measurement system varies in the test volume, the standard deviation is closely related to the overall test system quality. Therefore, the acceptance criteria in IEC 61000-4-22 are based on the standard deviation, $s_{dB,C}$ ([see 5.4, Equation (4)]. However, the uncertainty contribution due to use of the average system transducer factor depends on the standard deviation of the average value $s_{dB,\bar{C}}$ (see 5.4, Equation (5)). Therefore, the suggested contribution to overall uncertainty used for the examples in Annex D is based on $s_{dB,\bar{C}}$.

Annex D (informative)

Measurement uncertainties

D.1 Measurement uncertainties for emission measurements

D.1.1 Influence factors

Figure D.1 shows the example influence factors to be taken into account for estimation of the uncertainty of field strength measurement.

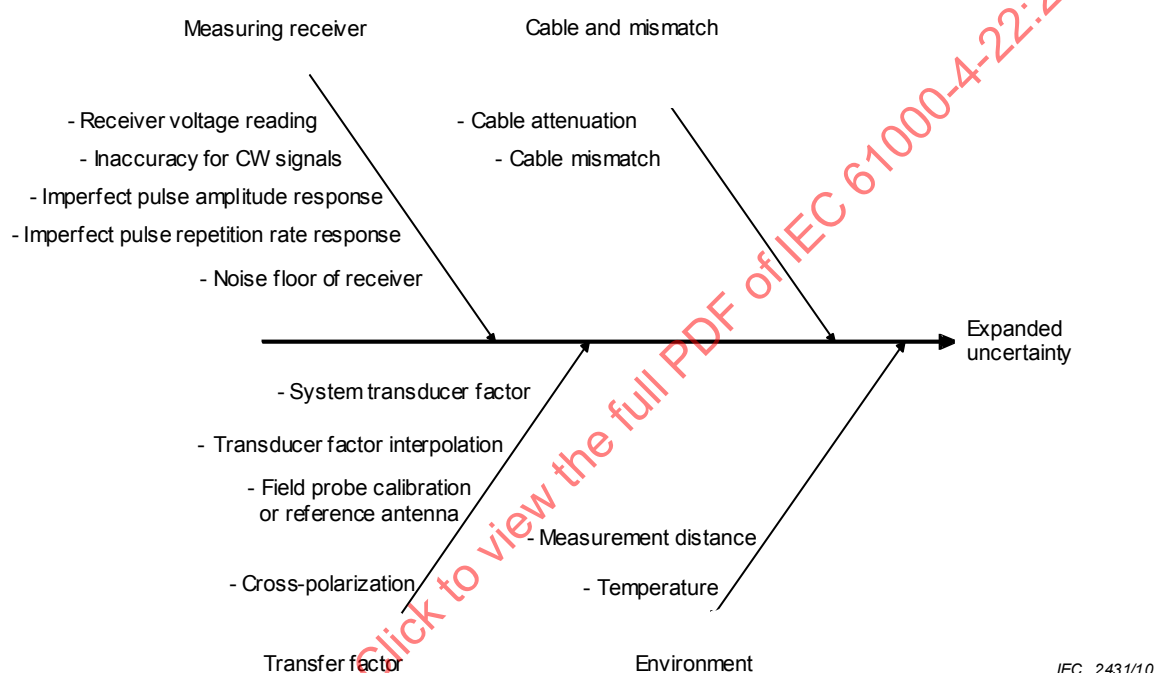


Figure D.1 – Example of influence factors for emission measurements

Measurement uncertainty and the uncertainty budgets described in this subclause are examples only. A test laboratory shall use its own numeric values for the influence factors indicated in this subclause, as well as other factors if applicable. For additional explanation of common terminology and concepts used in uncertainty calculations, see e.g. [4].

D.1.2 Estimation of the uncertainty for emission measurements

For measurements in a FAR, the instrumentation measurement uncertainty should be estimated as shown in the example Tables D.1 and D.2; descriptions about parameters used in these tables are given in D.1.3. Description of the validation set-up types is given in 5.2.

Table D.1 – Measurement instrumentation uncertainty in a FAR for radiated emission measurements in the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz

Input quantity	x_i	Uncertainty of x_i		$u(x_i)$ dB	c_i	$[u(x_i)]^2$ Validation set-up type			
		dB	Probability distribution function			1	2	3	4
Receiver									
Receiver reading (1)	V_r	0,10	$k = 1$	0,10	1	0,01	0,01	0,01	0,01
Sine wave voltage (2)	δV_{sw}	1,00	$k = 2$	0,50	1	0,25	0,25	0,25	0,25
Pulse amplitude response (3)	δV_{pa}	1,50	Rectangular	0,87	1	0,75	0,75	0,75	0,75
Pulse repetition response (4)	δV_{pr}	1,50	Rectangular	0,87	1	0,75	0,75	0,75	0,75
Noise floor proximity (5)	δV_{nf}	0,50	$k = 2$	0,25	1	0,06	0,06	0,06	0,06
Cable									
Cable attenuation (6)	L_c	0,30	$k = 2$	0,15	1	0,02	0,02	0,02	0,02
Mismatch TRP - receiver (7)	δM	0,9 / -1	U-shaped	0,67	1	0,45	0,45	0,45	0,45
System transducer factor									
Average system transducer (8)	C_{dB}	0,46	$k = 1$	0,46	1	0,22	0,22	0,22	0,22
Field probe calibration (9)	δF_{FP}	1,70	$k = 2$	0,85	1	0,72			
Reference antenna (10)	δF_{RA}	1,00	$k = 2$	0,50	1		0,25	0,25	0,25
Cable attenuation (reference antenna to receiver) (11)	δA_{C2}	0,30	$k = 2$	0,15	1		0,02	0,02	0,02
Mismatch reference antenna to receiver / NA (12)	δM_{C2}	0,9 / -1	U-shaped	0,67	1		0,45	0,45	0,45
Receiver connected to reference antenna (13)	δV_{ind}	1,00	Rectangular	0,58	1		0,33		
Frequency interpolation (14)	δC_f	0,30	Rectangular	0,17	1	0,03	0,03	0,03	0,03
Directional coupler, coupling factor (15)	δF_{DC}	0,80	$k = 2$	0,40	1	0,16	0,16		0,16
Directional coupler, insertion loss (16)	δA_{DC}	0,60	$k = 2$	0,30	1	0,09	0,09		0,09
Cable attenuation, directional coupler to power meter (17)	δA_{C1}	0,30	$k = 2$	0,15	1	0,02	0,02		0,02
Mismatch directional coupler to power meter (18)	δM_{C1}	0,9 / -1	U-shaped	0,67	1	0,45	0,45		0,45
Spectrum analyzer / power meter (19)	δP_{ind}	0,80	Rectangular	0,46	1	0,21	0,21		
Network analyzer (20)	δS_{21}	0,30	$k = 2$	0,15	1			0,02	0,02
Cross-polarization (21)	δA_{cp}	0,00		0,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00
Environment									
Separation distance to antenna (22)	δd_{meas}	0,30	Rectangular	0,17	1	0,03	0,03	0,03	0,03
NOTE The numbers in parentheses in the first column refer to the numbered comments in D.1.3.					u_c	2,06	2,14	1,82	2,01
					$k = 1,64$	3,37	3,50	2,99	3,30
					$k = 2$	4,11	4,27	3,64	4,02

Table D.2 – Measurement instrumentation uncertainty in a FAR for radiated emission measurements in the frequency range 1 GHz to 18 GHz

Input quantity	x_i	Uncertainty of x_i		$u(x_i)$ dB	c_i	$[u(x_i)]^2$ Validation set-up type			
		dB	Probability distribution function			1	2	3	4
Receiver									
Receiver reading (1)	V_r	0,10	$k = 1$	0,10	1	0,01	0,01	0,01	0,01
Sine wave voltage (2)	δV_{sw}	1,50	$k = 2$	0,75	1	0,56	0,56	0,56	0,56
Noise floor proximity (5)	δV_{nf}	0,70	$k = 2$	0,35	1	0,12	0,12	0,12	0,12
Cable									
Cable attenuation (6)	$\delta L_{c,im}$	0,30	$k=2$	0,15	1	0,02	0,02	0,02	0,02
Mismatch TRP - receiver (7)	δM	1,3 / -1,5	U-shaped	0,99	1	0,98	0,98	0,98	0,98
System transducer factor									
Average system transducer (8)	C_{dB}	0,77	$k=1$	0,77	1	0,60	0,60	0,60	0,60
Field probe calibration (9)	δF_{FP}	1,70	$k=2$	0,85	1	0,72			
Reference antenna (10)	δF_{RA}	1,00	$k=2$	0,50	1		0,25	0,25	0,25
Cable attenuation (reference antenna to receiver) (11)	δA_{C2}	0,30	$k=2$	0,15	1		0,02	0,02	0,02
Mismatch reference antenna to receiver / network analyzer (12)	δM_{C2}	1,3 / -1,5	U-shaped	0,99	1		0,98	0,98	0,98
Receiver connected to reference antenna (13)	δV_{ind}	1,00	Rectangular	0,58	1		0,33		
Frequency interpolation (14)	δC_f	0,30	Rectangular	0,17	1	0,03	0,03	0,03	0,03
Directional coupler, coupling factor (15)	δF_{DC}	0,80	$k=2$	0,40	1	0,16	0,16		0,16
Directional coupler, insertion loss (16)	δA_{DC}	0,60	$k=2$	0,30	1	0,09	0,09		0,09
Cable attenuation directional coupler to power meter (17)	δA_{C1}	0,30	$k=2$	0,15	1	0,02	0,02		0,02
Mismatch directional coupler to power meter (18)	δM_{C1}	1,3 / -1,5	U-shaped	0,99	1	0,98	0,98		0,98
Spectrum analyzer / power meter (19)	δP_{ind}	0,80	Rectangular	0,46	1	0,21	0,21		
Network analyzer (20)	δs_{21}	0,50	$k=2$	0,25	1			0,06	0,06
Cross-polarization (21)	δA_{cp}	0,00		0,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00
Environment									
Separation distance to the antenna (22)	$\delta d_{meas,}$	0,30	Rectangular	0,17	1	0,03	0,03	0,03	0,03
NOTE The numbers in parentheses in the first column refer to the numbered comments in D.1.3.					u_c	2,13	2,33	1,92	2,22
					$k=1,64$	3,50	3,81	3,14	3,64
					$k=2$	4,26	4,65	3,83	4,44

D.1.3 Comments about influence factors

The uncertainty associated with an estimate x_i of an input quantity in the above tables is the largest uncertainty considered likely within the frequency range covered by the table, provided that it is consistent with the measuring apparatus specification tolerances in CISPR 16-1-1. The numbers in parentheses in the first column of Tables D.1 and D.2 refer to the numbered comments below.

The assumptions that led to the values in the Tables D.1 and D.2 may not be appropriate for a particular test laboratory. When a test laboratory evaluates its own expanded measurement instrumentation uncertainty, U_{lab} , it shall consider the information available about its particular measuring system, including equipment characteristics, the quality and currency of calibration data, the known or likely probability distributions, and its specific measurement procedures. A test-laboratory may find it advantageous to evaluate its uncertainties over subdivisions of the frequency range, particularly if a dominant uncertainty varies significantly over that range.

The expanded uncertainties given at the bottom of Tables D.1 and D.2 are evaluated with the coverage factor $k = 2$, which is usually selected to indicate that the true value lies in a symmetric interval around the measurement value with a confidence level of 95 %. In case of compliance statements with the same confidence level of 95 %, a single-sided evaluation may apply leading to a coverage factor $k = 1,64$.

A NOTE following a comment is intended to provide some guidance to test laboratories confronted with data or situations that differ from those assumed here.

- 1) Receiver readings will vary for reasons that include measuring system instability, receiver noise, and meter scale interpolation errors. The estimate of V_r is the mean of many readings, with a standard uncertainty given by the experimental standard deviation of the mean.
- 2) An estimate of the correction δV_{sw} for receiver sine-wave voltage accuracy was assumed to be available from a calibration report, along with an expanded uncertainty and a coverage factor.

NOTE 1 If a calibration report states only that the receiver sine-wave voltage accuracy is within the CISPR 16-1-1 tolerance (± 2 dB), then the estimate of the correction δV_{sw} should be taken as zero with a rectangular probability distribution having a half-width of 2 dB.

- 3) In general it is impractical to correct for imperfect receiver pulse response characteristics. A calibration report stating that the receiver pulse amplitude response complies with the CISPR 16-1-1 tolerance of $\pm 1,5$ dB for peak, quasi-peak, average, or rms. detection was assumed to be available. The correction δV_{pa} was estimated to be zero with a rectangular probability distribution having a half-width of 1,5 dB.
- 4) The CISPR 16-1-1 tolerance for pulse repetition rate response varies with repetition rate and detector type. A verification report stating that the receiver pulse repetition rate responses comply with the CISPR 16-1-1 tolerances was assumed to be available. The correction δV_{pr} was estimated to be zero with a rectangular probability distribution having a half-width of 1,5 dB, i.e. a value considered to be representative of the various CISPR 16-1-1 tolerances.

NOTE 2 If the pulse amplitude response or the pulse repetition rate response is verified to be within $\pm \alpha$ dB of the CISPR specification ($\alpha \leq 1,5$), the correction for that response may be estimated to be zero with a rectangular probability distribution having a half-width of α dB.

If a disturbance produces a continuous wave signal at the detector, pulse response corrections need not be considered.

- 5) The noise floor of a CISPR receiver is not negligible for radiated disturbances, thus the proximity of the receiver noise floor may influence measurement results near the radiated disturbance limit.

NOTE 3 For radiated disturbance measurement, the correction δV_{nf} was estimated to be zero with an expanded uncertainty of 0,5 dB and a coverage factor of 2.

- 6) The attenuation between p_{TR} and the input of the measurement receiver needs to be measured. The corresponding measurement error will directly influence the result of emission measurements.
- 7) In general, the receiver port of the p_{TR} will be connected to port 1 of a two-port network whose port 2 is terminated by a receiver of reflection coefficient Γ_r . The two-port network, which might be a cable, attenuator, attenuator and cable in tandem, or some other combination of components, can be represented by its S -parameters. The mismatch correction is then

$$\delta M = 20 \log \left| (1 - \Gamma_e S_{11})(1 - \Gamma_r S_{22}) - S_{21}^2 \Gamma_e \Gamma_r \right| \quad (D.1)$$

where Γ_e is the reflection coefficient seen looking into the receiver port of the AMN or absorbing clamp with the EUT connected, or looking into the output port of the antenna when it is set up for disturbance measurement. All parameters are with respect to 50 Ω .

When only the magnitudes or extremes of magnitudes, of the parameters are known, it is not possible to calculate δM , but its extreme values $\delta M^\pm$ are not greater than

$$\delta M^\pm = 20 \log \left[1 \pm \left(|\Gamma_e| |S_{11}| + |\Gamma_r| |S_{22}| + |\Gamma_e| |\Gamma_r| |S_{11}| |S_{22}| + |\Gamma_e| |\Gamma_r| |S_{21}|^2 \right) \right] \quad (D.2)$$

The probability distribution of δM is approximately U-shaped, with width not greater than $(\delta M^+ - \delta M^-)$ and standard deviation not greater than the half-width divided by $\sqrt{2}$.

For radiated disturbance measurements, an antenna specification of $VSWR \leq 2,0:1$ is assumed, implying $|\Gamma_e| \leq 0,33$. It is also assumed that the connection to the receiver is a well-matched cable ($|S_{11}| \ll 1$, $|S_{22}| \ll 1$) of negligible attenuation ($|S_{21}| \approx 1$), and that the receiver RF attenuation was 0 dB, for which the CISPR 16-1-1 tolerance of $VSWR \leq 2,0:1$ implies $|\Gamma_r| \leq 0,33$.

The estimate of the correction δM was zero with a U-shaped probability distribution having width equal to the difference $(\delta M^+ - \delta M^-)$.

NOTE 4 The expressions for δM and $\delta M^\pm$ show that the mismatch error can be reduced by increasing the attenuation of the well-matched two-port network preceding the receiver. The penalty is a reduction in measurement sensitivity.

NOTE 5 Additional considerations about Equation (D.2): a) Due to non-existing or only weak correlation of the addends, the linear addition may be replaced by the root sum square rule. b) Due to the usually small magnitude of the addends, a further approximation (where $\delta M^\pm$ is the half width of a U-shaped distribution) is applicable, yielding finally:

$$\delta M^\pm \approx 8.7 \sqrt{(|\Gamma_e| |S_{11}|)^2 + (|\Gamma_r| |S_{22}|)^2 + (|\Gamma_e| |\Gamma_r| |S_{21}|^2)^2} \text{ dB}$$

For some antennas at some frequencies, the VSWR may be much greater than 2,0:1.

Precautions may be needed to ensure that the impedance seen by the receiver complies with the CISPR 16-1-1 specification of $VSWR \leq 2,0:1$ when a complex antenna is used.

- 8) The average system transducer factor is derived from the 15 sampling points. Because the measurand refers to the average system transducer factor, its standard deviation, $s_{dB,C}$, needs to be considered as contribution to uncertainty. In Tables D.1 and D.2 the allowed standard deviation of the average, taking 15 sampling points into account, is used.
- 9) In validation/calibration Type 1 set-up the evaluation of the average system transducer factor is made on the basis of a field probe. This contribution is a combination of calibration uncertainty, field probe unbalance (anisotropy), field probe frequency response and temperature sensitivity. Normally this data can be obtained from the probe data sheet or calibration certificate.

- 10) For validation/calibration Type 2 to Type 4 set-ups, the average system transducer factor is derived from measurements with a reference antenna. Its free-space antenna factor is assumed to be available from a calibration report, along with an expanded uncertainty and a coverage factor.
- 11) The attenuation of the cable between reference antenna and the input of the measurement receiver or network analyzer used for the validation/calibration test needs to be measured. The corresponding measurement uncertainty influences the derivation of the average system transducer factor. This contribution only applies for the Type 2 to Type 4 set-ups.
- 12) The connection between reference antenna and measurement receiver or network analyzer (NA) needs to be considered by a mismatch correction term M_{C2} . This contribution is associated with the mismatch correction. This contribution only applies for the Type 2 to Type 4 set-ups. For details about the principles of estimation, see also D.1.3 comment 7).
- 13) The receiver connected to the reference antenna during validation/calibration gives the indication V_{ind} . Its contribution to uncertainty combines the receiver reading and the sine wave response accuracy and only applies for the Type 2 set-up.
- 14) When a transducer factor is calculated by interpolation between frequencies at which calibration data are available, the uncertainty associated with that transducer factor depends on the frequency interval between validation/calibration points and the variability of transducer factor with frequency. Plotting calibrated transducer factor against frequency helps visualise the situation.

The estimate of the correction δC_f for transducer factor interpolation error was zero with a rectangular probability distribution having a half-width of 0,3 dB.

NOTE 6 At any frequency for which a calibrated antenna factor is available, the correction δC_f need not be considered.

- 15) The coupling factor of the directional coupler between power input and forward power output is measured. This is the contribution associated with this coupling factor measurement. It applies for the Types 1, 2 and 4 set-ups.
- 16) The insertion loss of the directional coupler between power input and power output needs to be measured. This is the contribution associated with this measurement. It applies for the Types 1, 2 and 4 set-ups.
- 17) In validation/calibration Types 1, 2 and 4 set-ups a cable is used between the forward power output of the directional coupler and a spectrum analyzer/power meter/network analyzer. Its attenuation needs to be considered in the derivation of the average system transducer factor. The contribution to uncertainty associated with this measurement applies for the Types 1, 2 and 4 set-ups.
- 18) The connection between forward power output of the directional coupler and the spectrum analyzer/power meter/network analyzer needs to be considered by a mismatch correction term M_{C1} . This contribution is associated with the mismatch correction. This contribution only applies for the Types 1, 2 and 4 set-ups. For details on the principles of estimation see also D.1.3 comment 7).
- 19) The spectrum analyzer/power meter connected to the output of the directional coupler during validation/calibration gives the indication P_{ind} . Its contribution to uncertainty combines the receiver reading and the sine wave response accuracy. It only applies for the Types 1 and 2 set-ups.
- 20) The parameter S_{21} is measured in validation/calibration Types 3 and 4 set-ups. The uncertainty associated with this measurement influences the uncertainty of the derivation of the average system transducer factor.
- 21) The cross-polarization response of a biconical antenna was considered to be negligible. The estimate of the correction δA_{cp} for cross-polarization response of a log-periodic antenna was zero with a rectangular probability distribution having a half-width of 0,9 dB, corresponding to the CISPR 16-1-1 cross-polarization response tolerance of –20 dB.

NOTE 7 If a dipole is used as the measuring antenna, the correction δA_{cp} is negligible.

- 22) The error in separation arises from the errors in determining the perimeter of the EUT, distance measurement, and antenna mast tilt. The estimate of the correction $\delta d_{\text{measurement}}$ for separation error was zero with a rectangular probability distribution having a half-width evaluated from assuming a maximum separation error of $\pm 0,1$ m, and that field strength is inversely proportional to separation over that distance margin.

D.2 Uncertainties for immunity tests

D.2.1 General

Uncertainties for immunity tests cannot be handled in the same way as done for emission measurements, because immunity tests normally do not have a numerical result, but rather give a simple “pass” or “fail” as a test result. During an immunity test, a disturbance quantity characterised by several parameters is applied to the EUT. One or more observable signals of the EUT are monitored or observed and compared against agreed criteria, from which the test result (pass/fail) is derived.

A classical measurement uncertainty analysis in principle can be applied to the measurement of the signals from the EUT. Because the process of a monitoring measurement is EUT specific, a basic standard cannot and should not deal with measurement uncertainties for the monitoring system (the observer), however such monitoring may be achieved.

Uncertainties can also be specified for the parameters of the disturbance quantity. As such, these uncertainties pertain to the degree of agreement of the specified instrumentation with the specifications of this basic standard. These uncertainties derived for particular test instrumentation system do not describe the degree of agreement between the simulated electromagnetic phenomenon as defined in the basic standard and the real electromagnetic phenomena in the world outside the laboratory. Therefore questions regarding the definitions of the disturbance quantity are not relevant for the test instrumentation uncertainties.

Because the influence of the parameters of the disturbance quantity on the EUT is *a priori* unknown, and in most cases the EUT shows non-linear system behaviour, a single uncertainty number cannot be defined for the disturbance quantity as an “overall uncertainty”. Each of the parameters of the disturbance quantity should be accompanied with a specific uncertainty, which may lead to more than one uncertainty budget for an immunity test.

This annex focuses on the uncertainties for level setting as one example only. For standards purposes, other parameters of the disturbance quantity may be considered at later stages (e.g. field homogeneity, modulation, harmonics due to amplifier saturation).

D.2.2 Influence factors

Figure D.2 gives examples of influences upon the test method. It should be noted that the diagram is not exhaustive.

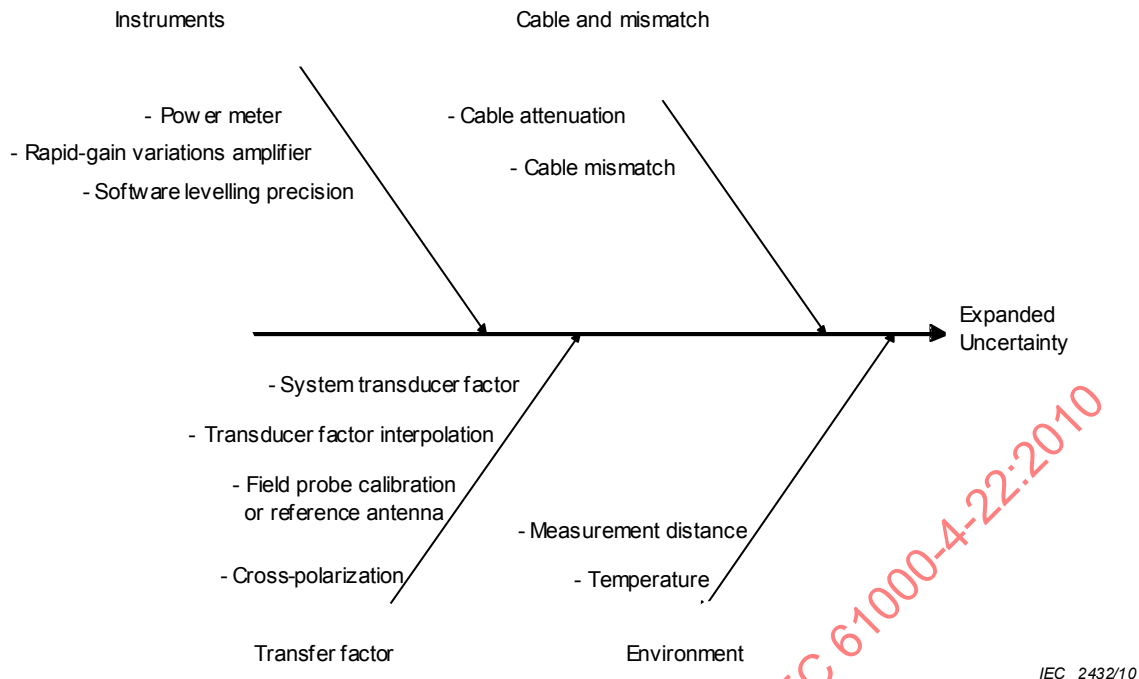


Figure D.2 – Example of influences upon the immunity test method

Measurement uncertainty and the uncertainty budgets described in this subclause are examples only. A test laboratory shall use its own numeric values for the influence factors indicated in this subclause, as well as other factors if applicable. For additional explanation of common terminology and concepts used in uncertainty calculations, see e.g. [4].

D.2.3 Estimation of the level setting uncertainty for immunity testing

The uncertainty budgets given below strongly depend on the validation/calibration set-up type (see 5.2) and the selection of cabling and instruments. For example, if a lab performs the validation/calibration with a Type 1 set-up and uses the same cabling/instrumentation for immunity testing, many contributions will be not relevant and the level setting uncertainty can be minimised.

Table D.3 – Measurement instrumentation uncertainty in a FAR for level setting for immunity testing in the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz

Input quantity	x_i	Uncertainty of x_i		$u(x_i)$ dB	c_i	$[u(x_i)]^2$ Validation set-up type			
		dB	Probability distribution function			1	2	3	4
Instruments									
Power meter (1)	$\delta P_{\text{ind,t}}$	0,80	Rectangular	0,46	1	0,21	0,21	0,21	0,21
Power amplifier gain variations (2)	δg_{PA}	0,20	Rectangular	0,12	1	0,01	0,01	0,01	0,01
Software levelling window (3)	δg_{SW}	0,60	Rectangular	0,35	1	0,12	0,12	0,12	0,12
Cabling and directional coupler									
Directional coupler, coupling factor (4)	$\delta k_{\text{CLfor,t}}$	0,80	$k=2$	0,40	1			0,16	
Directional coupler, insertion loss (5)	$\delta k_{\text{ILDC,t}}$	0,60	$k=2$	0,30	1			0,09	
Cable attenuation directional coupler to power meter (6)	δk_{ILC1}	0,30	$k=2$	0,15	1			0,02	
Mismatch directional coupler to power meter (7)	δM_{C1}	1,3 / -1,5	U-shaped	0,99	1			0,98	
Mismatch directional coupler to TRP (8)	δM_{TRP}	1,3 / -1,5	U-shaped	0,99	1			0,98	
System transducer factor									
Average system transducer (9)	C_{dB}	0,77	$k=1$	0,77	1	0,60	0,60	0,60	0,60
Field probe calibration (10)	δF_{FP}	1,70	$k=2$	0,85	1	0,72			
Reference antenna (11)	δF_{RA}	1,00	$k=2$	0,50	1		0,25	0,25	0,25
Cable attenuation (reference antenna to receiver) (12)	δA_{C2}	0,30	$k=2$	0,15	1		0,02	0,02	0,02
Mismatch reference antenna to receiver / network analyzer (13)	δM_{C2}	1,3 / -1,5	U-shaped	0,99	1		0,98	0,98	0,98
Receiver connected to reference antenna (14)	δV_{ind}	1,00	Rectangular	0,58	1		0,33		
Frequency interpolation (15)	δC_{f}	0,30	Rectangular	0,17	1	0,03	0,03	0,03	0,03
directional coupler, coupling factor (16)	δF_{DC}	0,80	$k=2$	0,40	1				
Directional coupler, insertion loss (17)	δA_{DC}	0,60	$k=2$	0,30	1				
Cable attenuation directional coupler to power meter (18)	δA_{C1}	0,30	$k=2$	0,15	1				0,02
Mismatch directional coupler to power meter (19)	δM_{C1}	1,3 / -1,5	U-shaped	0,99	1		0,98		0,98
Spectrum analyzer / power meter (20)	δP_{ind}	0,80	Rectangular	0,46	1	0,21	0,21		
Network analyzer (21)	δs_{21}	0,50	$k=2$	0,25	1			0,06	0,06
Cross-polarization (22)	δA_{cp}	0,00		0,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00
Environment									
Separation distance to the antenna (23)	$\delta d_{\text{meas,}}$	0,30	Rectangular	0,17	1	0,03	0,03	0,03	0,03
NOTE The numbers in parentheses in the first column refer to the numbered comments in D.2.4.					u_c	1,39	1,95	2,13	1,82
				$k=1,64$		2,29	3,19	3,50	2,99
				$k=2$		2,79	3,89	4,27	3,65

Table D.4 – Measurement instrumentation uncertainty in a FAR for level setting for immunity testing in the frequency range 1 GHz to 18 GHz

Input quantity	x_i	Uncertainty of x_i		$u(x_i)$ dB	c_i	$[u(x_i)]^2$ Validation set-up type			
		dB	Probability distribution function			1	2	3	4
Instruments									
Power meter (1)	$\delta P_{ind,t}$	0,80	Rectangular	0,46	1	0,21	0,21	0,21	0,21
Power amplifier gain variations (2)	δg_{PA}	0,20	Rectangular	0,12	1	0,01	0,01	0,01	0,01
Software levelling window (3)	δg_{SW}	0,60	Rectangular	0,35	1	0,12	0,12	0,12	0,12
Cabling and directional coupler									
Directional coupler, coupling factor (4)	$\delta k_{CLfor,t}$	0,80	$k=2$	0,40	1			0,16	
Directional coupler, insertion loss (5)	$\delta k_{ILDC,t}$	0,60	$k=2$	0,30	1			0,09	
Cable attenuation directional coupling to power meter (6)	δk_{ILC1}	0,30	$k=2$	0,15	1			0,02	
Mismatch directional coupler - power meter (7)	δM_{C1}	1,3 / -1,5	U-shaped	0,99	1			0,98	
Mismatch directional coupler - TRP (8)	δM_{TRP}	1,3 / -1,5	U-shaped	0,99	1			0,98	
System transducer factor									
Average system transducer (9)	C_{dB}	0,46	$k=1$	0,46	1	0,22	0,22	0,22	0,22
Field probe calibration (10)	δF_{FP}	1,70	$k=2$	0,85	1	0,72			
Reference antenna (11)	δF_{RA}	1,00	$k=2$	0,50	1		0,25	0,25	0,25
Cable attenuation (reference antenna to receiver) (12)	δA_{C2}	0,30	$k=2$	0,15	1		0,02	0,02	0,02
Mismatch reference antenna to receiver / network analyzer (13)	δM_{C2}	1,3 / -1,5	U-shaped	0,99	1		0,98	0,98	0,98
Receiver connected to ref antenna (14)	δV_{ind}	1,00	Rectangular	0,58	1		0,33		
Frequency interpolation (15)	δC_f	0,30	Rectangular	0,17	1	0,03	0,03	0,03	0,03
directional coupler, coupling factor (16)	δF_{DC}	0,80	$k=2$	0,40	1				
Directional coupler, insertion loss (17)	δA_{DC}	0,60	$k=2$	0,30	1				
Cable attenuation directional coupler to power meter (18)	δA_{C1}	0,30	$k=2$	0,15	1				0,02
Mismatch directional coupler to power meter (19)	δM_{C1}	1,3 / -1,5	U-shaped	0,99	1		0,98		0,98
Spectrum analyzer / power meter (20)	δP_{ind}	0,80	Rectangular	0,46	1	0,21	0,21		
Network analyzer (21)	δs_{21}	0,50	$k=2$	0,25	1			0,06	0,06
Cross-polarization (22)	δA_{cp}	0,00		0,00	1	0,00	0,00	0,00	0,00
Environment									
Separation distance of the antenna (23)	$\delta d_{meas,}$	0,30	Rectangular	0,17	1	0,03	0,03	0,03	0,03
NOTE The numbers in parentheses in the first column refer to the numbered comments in D.2.4.					u_c	1,25	1,84	2,04	1,71
				$k=1,64$		2,05	3,02	3,35	2,81
				$k=2$		2,50	3,69	4,08	3,43

D.2.4 Comments on influence factors

The uncertainty associated with an estimate x_i of an input quantity in Tables D.3 and D.4 is the largest uncertainty considered likely within the frequency range covered by the tables. The numbers in parentheses in the first column of Tables D.3 and D.4 refer to the numbered comments in this subclause.

The assumptions that lead to the values in the Tables D.3 and D.4 may not be appropriate for a particular test laboratory. When a test laboratory evaluates its own expanded measurement instrumentation uncertainty, it should consider the information available about its particular measuring system, including equipment characteristics, the quality and currency of calibration data, the known or likely probability distributions, and its specific measurement procedures. A test laboratory may find it advantageous to evaluate its uncertainties over subdivisions of the frequency range, particularly if a dominant uncertainty varies significantly over that range.

The expanded uncertainties given at the bottom of Tables D.3 and D.4 are evaluated with a coverage factor $k = 2$, which is usually selected to indicate that the true value lies in a symmetric interval around the measurement value with a confidence level of 95 %. In case of compliance statements with the same confidence level of 95 %, a single-sided evaluation may apply leading to a coverage factor $k = 1,64$.

A NOTE following a comment is intended to provide some guidance to test laboratories confronted with data or situations that differ from those assumed here.

- 1) This is the contribution associated with the uncertainty of the power meter itself, and its sensors used for immunity testing. The uncertainty can be taken from the manufacturer's specification and/or calibration certificate. This contribution, and contribution (20), can be reduced to the repeatability and linearity of the power meter, if a validation/calibration Type 1 set-up is used, and the same cabling / instruments are used for the test.
- 2) Influence caused by rapid gain variations of the power amplifier after the steady state has been reached.
- 3) Influence caused by the discrete steps of the RF generator and software windows for level setting during immunity testing. The software window (level setting range) can usually be adjusted by the test lab.
- 4) The coupling factor between power input and forward power output of the directional coupler used for immunity testing is measured. This is the contribution associated with this coupling factor measurement. If the same directional coupler is used for validation/calibration and testing, it does not contribute to uncertainties in the validation/calibration Types 1, 2 and 4 set-ups.
- 5) The insertion loss between power input and power output of the directional coupler used for immunity testing needs to be measured. This is the contribution associated with this measurement. If the same directional coupler is used for validation/calibration and testing, it does not contribute to uncertainties in the validation/calibration Types 1, 2 and 4 set-ups.
- 6) If the cable used between directional coupler and power meter is different between validation/calibration measurement and immunity tests, it needs to be characterised. This is the contribution associated with the cable used during immunity tests. It typically contributes in validation/calibration Type 3 set-up.
- 7) The forward power output of the directional coupler is connected to port 1 of a two-port network whose port 2 is terminated by the power meter of reflection coefficient Γ_r . The two-port network, which might be a cable, attenuator, attenuator and cable in tandem, or some other combination of components, can be represented by its S -parameters. The mismatch correction is then

$$\delta M = 20 \log \left| (1 - \Gamma_e S_{11})(1 - \Gamma_r S_{22}) - S_{21}^2 \Gamma_e \Gamma_r \right| \quad (D.3)$$

where Γ_e is the reflection coefficient seen looking into the output port of the directional coupler. All parameters are with respect to 50 Ω .

When only the magnitudes or extremes of magnitudes, of the parameters are known, it is not possible to calculate δM , but its extreme values $\delta M^{\pm}$ are not greater than

$$\delta M^{\pm} = 20 \log \left[1 \pm \left(|\Gamma_e||S_{11}| + |\Gamma_r||S_{22}| + |\Gamma_e||\Gamma_r||S_{11}||S_{22}| + |\Gamma_e||\Gamma_r||S_{21}|^2 \right) \right] \quad (D.4)$$

The probability distribution of δM is approximately U-shaped, with width not greater than $(\delta M^+ - \delta M^-)$ and standard deviation not greater than the half-width divided by $\sqrt{2}$.

The estimate of the correction δM was zero with a U-shaped probability distribution having width equal to the difference $(\delta M^+ - \delta M^-)$.

NOTE 1 The expressions for δM and $\delta M^{\pm}$ show that mismatch error can be reduced by increasing the attenuation of the well-matched two-port network preceding the receiver. The penalty is a reduction in measurement sensitivity.

NOTE 2 Additional considerations about Equation (D.4): a) due to non-existing or only weak correlation of the addends, the linear addition may be replaced by the root sum square rule; and b) due to the usually small magnitude of the addends, a further approximation (where $\delta M^{\pm}$ is the half width of a U-shaped distribution) is applicable, yielding finally:

$$\delta M^{\pm} \approx 8.7 \sqrt{(|\Gamma_e||S_{11}|)^2 + (|\Gamma_r||S_{22}|)^2 + (|\Gamma_e||\Gamma_r||S_{21}|^2)^2} \text{ dB}$$

This contribution is typically relevant in validation/calibration Type 3 set-up only.

- 8) For immunity tests, the output of the directional coupler is connected to P_{TR} . The correction for mismatch yields to an uncertainty contribution that is typically relevant for validation/calibration Type 3 set-up only.
- 9) The average system transducer factor is derived from the 15 sampling points. Because the measurand refers to the average system transducer factor, its standard deviation, $s_{dB,C}$, needs to be considered as contribution to uncertainty. In the Tables D.3 and D.4, the allowed standard deviation of the average taking 15 sampling points into account is used.
- 10) In validation/calibration Type 1 set-up, the evaluation of the average system transducer factor is made on the basis of a field probe. This contribution is a combination of calibration uncertainty, field probe unbalance (anisotropy), field probe frequency response and temperature sensitivity. Normally this data can be obtained from the probe data sheet or calibration certificate.
- 11) For validation/calibration Types 2 to 4 set-ups the average system transducer factor is derived from measurements with a reference antenna. Its free-space antenna factor F_{RA} is assumed to be available from a calibration report, along with an expanded uncertainty and a coverage factor.
- 12) The attenuation of the cable between reference antenna and the input of the measurement receiver or network analyzer used for validation/calibration needs to be measured. The corresponding measurement uncertainty influences the derivation of the average system transducer factor. This contribution only applies for the Types 2 to 4 set-ups.
- 13) The connection between reference antenna and measurement receiver or network analyzer needs to be considered by a mismatch correction term M_{C2} . This contribution is associated with the mismatch correction. This contribution only applies for the Types 2 to 4 set-ups. For details on the principles of estimation see also D.2.4 comment 7.
- 14) The receiver connected to the reference antenna during validation/calibration gives the indication V_{ind} . Its contribution to uncertainty combines the receiver reading and the sine wave response accuracy, and applies for the Type 2 set-up.
- 15) When a transducer factor is calculated by interpolation between frequencies at which validation/calibration data are available, the uncertainty associated with that transducer factor depends on the frequency interval between validation/calibration points and the variability of transducer factor with frequency. Plotting calibrated transducer factor against frequency helps visualise the situation.

The estimate of the correction δC_f for transducer factor interpolation error was zero with a rectangular probability distribution having a half-width of 0,3 dB.

NOTE 3 At any frequency for which a calibrated antenna factor is available, the correction δC_f need not be considered.

- 16) The coupling factor of the directional coupler between power input and forward power output is measured. This is the contribution associated with this coupling factor measurement. It applies only in case that different directional couplers are used for validation/calibration and immunity testing.
- 17) The insertion loss of the directional coupler between power input and power output needs to be measured. This is the contribution associated with this measurement. It applies only in case that different directional couplers are used for validation/calibration and immunity testing.
- 18) In validation/calibration Type 4 set-up a cable is used between the forward power output of the directional coupler and a network analyzer, which may differ from the cable between directional coupler and power meter during immunity testing. Its attenuation needs to be considered in the derivation of the average system transducer factor. The contribution to uncertainty associated with this measurement applies for the Type 4 set-up.
- 19) The connection between forward power output of the directional coupler and the network analyzer needs to be considered by a mismatch correction term M_{C1} . This contribution is associated with the mismatch correction. This contribution only applies for the Types 2 and 4 set-ups. For details about the principles of estimation see also D.2.4 comment 7.
- 20) The spectrum analyzer/power meter connected to the output of the directional coupler during validation/calibration gives the indication P_{ind} . Its contribution to uncertainty combines the receiver reading and the sine wave response accuracy. It only applies for the Types 1 and 2 set-ups. Together with D.2.4 comment 1), it can be reduced with regard to the repeatability and linearity of the power meter, if the same power meter is used for immunity testing.
- 21) The parameter S_{21} is measured in validation/calibration Types 3 and 4 set-ups. The uncertainty associated with this measurement influences the uncertainty of the derivation of the average system transducer factor.
- 22) The cross-polarization response of a biconical antenna is considered to be negligible. The estimate of the correction δA_{cp} for cross-polarization response of a log-periodic antenna was zero with a rectangular probability distribution having a half-width of 0,9 dB, corresponding to the CISPR 16-1-1 cross-polarization response tolerance of –20 dB.

NOTE 4 If a dipole is used as the measuring antenna, the correction δA_{cp} is negligible.

- 23) The error in separation arises from the errors in determining the perimeter of the EUT, distance measurement, and antenna mast tilt. The estimate of the correction $\delta d_{measurement}$ for separation error was zero with a rectangular probability distribution having a half-width evaluated from assuming a maximum separation error of $\pm 0,1$ m, and that field strength is inversely proportional to separation over that distance margin.

Bibliography

- [1] IEC Guide 107:2009, *Electromagnetic compatibility – Guide to the drafting of electromagnetic compatibility publications*
- [2] IEC 61000-4-3:2006 + A1:2007, *Electromagnetic Compatibility (EMC) – Part 4-3: Testing and measurement techniques – Radiated radio frequency, electromagnetic field immunity test*
- [3] CISPR/TR 16-4-1:2009, *Specification for Radio Disturbance and Immunity Measuring Apparatus and Methods – Part 4-1: Uncertainties, Statistics and Limit Modelling – Uncertainties in Standardized EMC tests*
- [4] ISO/IEC Guide 98-3, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*
- [5] ANSI C63.4-2009, *American National Standard for Methods of Measurement of Radio-Noise Emissions from Low-Voltage Electrical and Electronic Equipment in the Range of 9 kHz to 40 GHz*
- [6] Kraus, John Daniel, *Antennas*, 2nd ed., McGraw-Hill, 1988, Section 2-25.
- [7] Lee, Kai Fong, *Principles of Antenna Theory*, Wiley, 1984, Section 4-4.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-22:2010

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-22:2010

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS.....	54
INTRODUCTION.....	56
1 Domaine d'application	58
2 Références normatives.....	58
3 Termes et définitions	59
4 Applications de FAR	61
4.1 Mesurande d'essais d'immunité au rayonnement.....	61
4.2 Mesurande pour les mesures d'émissions rayonnées	61
5 Procédure de validation et d'étalonnage de la FAR.....	61
5.1 Généralités.....	61
5.2 Montages de validation.....	61
5.3 Description de l'installation d'essai.....	65
5.3.1 Généralités.....	65
5.3.2 Volume d'essai	65
5.3.3 Antenne à large bande	65
5.3.4 Câbles d'antenne.....	65
5.3.5 Table de montage.....	66
5.3.6 Plateau tournant	66
5.3.7 Changeur automatisé de polarisation de l'antenne.....	66
5.3.8 Configuration des absorbeurs.....	66
5.4 Définition des grandeurs à déterminer par la procédure de validation de la FAR.....	66
5.5 Emplacements d'échantillonnage exigés pour la validation de la FAR	67
5.6 Procédure de validation de la FAR	68
5.6.1 Généralités.....	68
5.6.2 Montage de validation de type 1	69
5.6.3 Montage de validation de type 2	69
5.6.4 Montage de validation de type 3	70
5.6.5 Montage de validation de type 4	70
5.6.6 Calcul de $\bar{C}_{dB}$ et $s_{dB,C}$ pour tous les types de montages	71
5.7 Exigence de validation	71
6 Montage d'essai	71
Annexe A (normative) Essais d'immunité aux rayonnements	76
Annexe B (normative) Mesures des émissions rayonnées	81
Annexe C (informative) Informations d'ordre général concernant le facteur de transduction du système et la méthode de validation simultanée des émissions/immunité	84
Annexe D (informative) Incertitudes de mesure.....	87
Bibliographie.....	103
Figure 1 – Synthétique de validation de type 1.....	62
Figure 2 – Synthétique de validation de type 2.....	62
Figure 3 – Synthétique de validation de type 3.....	63
Figure 4 – Synthétique de validation de type 4.....	63
Figure 5 – Emplacement des points de prélèvement pour la validation de la FAR	68

Figure 6 – Exemple de montage d'essai pour un matériel posé sur table	73
Figure 7 – Exemple de montage d'essai pour un matériel posé sur table, vue de dessus	74
Figure 8 – Exemple de montage d'essai pour un matériel posé au sol.....	74
Figure 9 – Exemple de montage d'essai pour un matériel posé au sol, vue de dessus	75
Figure A.1 – Définition de d_{mesure} pour les essais d'immunité	78
Figure B.1 – Définition de d_{mesure} pour les mesures d'émissions.....	82
Figure D.1 – Exemple de facteurs d'influence des mesures d'émissions	87
Figure D.2 – Exemple d'influences sur la méthode d'essai d'immunité	94
Tableau 1 – Composants requis pour les différents types de montages de validation.....	65
Tableau 2 – Critères de validation.....	71
Tableau D.1 – Incertitude de mesure des instruments dans la FAR pour les mesures des émissions rayonnées dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz.....	88
Tableau D.2 – Incertitude de mesure des instruments dans la FAR pour les mesures des émissions rayonnées dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz	89
Tableau D.3 – Incertitude de mesure des instruments dans une FAR pour le réglage du niveau des essais d'immunité dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz.....	96
Tableau D.4 – Incertitude de mesure des instruments dans la FAR pour le réglage du niveau des essais d'immunité dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz.....	98

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS
RADIOÉLECTRIQUES

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

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

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de 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 61000-4-22 a été établie par le sous-comité A du CISPR: Mesures des perturbations radioélectriques et méthodes statistiques, avec la coopération du sous-comité 77B: Phénomènes haute fréquence, du comité d'études 77 de la CEI: Compatibilité électromagnétique.

Cette norme a le statut de publication fondamentale en CEM conformément au Guide 107 de la CEI, *Compatibilité électromagnétique – Guide pour les projets de publications en compatibilité électromagnétique*.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
CISPR/A/912/FDIS	CISPR/A/923/RVD

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

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

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61000 peut être consultée sur le site web de la CEI sous le titre général Compatibilité électromagnétique (CEM) ainsi que de toutes les parties de la série CISPR 16 sous le titre général Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de 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.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-22:2010

INTRODUCTION

La présente norme fait partie de la série des normes 61000 de la CEI, selon la répartition 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: Montage d'essai

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. Certaines d'entre elles ont déjà été publiées en tant que sections. D'autres seront publiées avec le numéro de partie suivi d'un tiret ainsi que d'un second numéro identifiant la sous-partie (par exemple: CEI 61000-6-1).

La présente partie constitue une norme internationale qui définit les procédures d'essai requises pour l'utilisation des enceintes complètement anéchoïques pour réaliser les essais d'immunité aux rayonnements et les mesures d'émissions rayonnées.

Le corps principal de la présente norme fournit toutes les informations communes aux essais d'émissions rayonnées et d'immunité dans une FAR¹. Ceci comprend la description de la FAR, un montage commun pour le matériel en essai (EUT²), ainsi qu'une procédure harmonisée d'étalonnage/de validation. Les méthodes d'essai décrites dans la présente norme se fondent sur la validation/l'étalonnage harmonisés qui vérifient la FAR comme un système de mesure, incluant simultanément l'enceinte proprement dite, l'antenne et les câbles correspondants. La procédure de validation détermine un facteur de transduction combiné pour le système de mesure de la FAR, qui est ensuite appliqué à la fois aux mesures d'émissions et d'immunité. Si des jeux différents d'antennes et/ou de câbles sont utilisés pour les mesures d'émissions et d'immunité, le processus de validation/étalonnage est effectué deux fois.

¹ FAR = *Fully anechoic room*.

² EUT = *Equipment under test*.

L'Annexe A (normative) décrit la méthode de mesure ainsi que les éventuels aspects particuliers à prendre en compte pour réaliser les essais d'immunité aux rayonnements.

L'Annexe B (normative) décrit la méthode de mesure ainsi que les éventuels aspects particuliers à prendre en compte pour réaliser les essais d'émissions rayonnées.

L'Annexe C (informative) fournit des informations d'ordre général sur le facteur de transduction du système et la méthode de validation simultanée des émissions/immunité.

L'Annexe D (informative) fournit des recommandations pour le calcul de l'incertitude des résultats de mesure obtenus avec une FAR et de l'instrumentation conformément au Guide ISO/CEI 98-3 [4]³⁾.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61000-4-22:2010

3) Les chiffres entre crochets font référence à la Bibliographie.

COMPATIBILITÉ ÉLECTROMAGNÉTIQUE (CEM) –

Partie 4-22: Techniques d'essai et de mesure – Mesures de l'immunité et des émissions rayonnées dans des enceintes complètement anéchoïques (FAR)

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61000 couvre les essais d'immunité et les mesures d'émissions d'équipements électriques et/ou électroniques. Seuls les phénomènes rayonnés sont pris en compte. Elle définit les procédures d'essai requises pour l'utilisation d'enceintes complètement anéchoïques de mesure de l'immunité aux rayonnements et des émissions rayonnées.

NOTE Conformément au Guide 107 de la CEI [1], la CEI 61000-4-22 est une publication fondamentale en CEM pour l'utilisation par les comités de produit de la CEI. Comme exposé dans le Guide 107, les comités de produit sont responsables de déterminer l'applicabilité des normes CEM. Le TC 77 et le CISPR et ses sous-comités sont prêts à coopérer avec des comités de produits dans la détermination d'essais CEM particuliers pour des produits spécifiques.

La présente partie établit une procédure de validation commune, les exigences de montage du matériel en essai (EUT) ainsi que les méthodes de mesure pour les enceintes complètement anéchoïques (FAR) lorsque les émissions électromagnétiques rayonnées et l'évaluation de l'immunité électromagnétique rayonnée sont mesurées dans la même enceinte FAR.

En tant que norme de mesure de base, la présente partie de la CEI 61000 n'a pas pour but de spécifier les niveaux d'essai ou des limites d'émission à appliquer à un matériel ou système(s) particulier(s). Son principal objectif est de fournir des procédures de mesure d'ordre général à l'ensemble des comités de produits concernés de la CEI ou du CISPR. Les exigences et conditions d'essai applicables à un produit spécifique relèvent de la responsabilité des comités de produits concernés.

Les méthodes décrites dans la présente norme permettent de mesurer les émissions rayonnées et l'immunité dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 18 GHz.

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).

CISPR 16-1-1:2010, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Appareils de mesure*

CISPR 16-1-4:2010 *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Matériels auxiliaires – Perturbations rayonnées*

CEI 60050-161:1990: *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 161: Compatibilité électromagnétique*

CEI 60050-394:2007, *Vocabulaire Electrotechnique International (VEI) – Partie 394: Instrumentation nucléaire – Instruments, systèmes, équipement et détecteurs*

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions donnés dans la CEI 60050-161, ainsi que les suivants, s'appliquent.

3.1

matériel auxiliaire

transducteurs (par exemple des sondes de courant et tension et des réseaux artificiels) connectés à un récepteur de mesure ou à un générateur de signal (essai) utilisés dans le transfert du signal de perturbation entre l'EUT et l'équipement de mesure ou d'essai

3.2

matériel associé

AE⁴

appareil qui n'est pas une partie du système en essai, mais nécessaire au fonctionnement de l'EUT

3.3

facteur moyen de transduction du système

$\bar{C}_{dB}$

facteur qui convertit une tension au point de raccordement de la réception/source du système en une intensité de champ induite ou reçue; ce paramètre est calculé à partir des données de validation de la FAR, de manière séparée pour la polarisation horizontale et verticale

NOTE Le facteur moyen de transduction du système est exprimé en dB (1/m).

3.4

étalonnage

ensemble des opérations établissant, dans des conditions spécifiées, la relation entre les valeurs de la grandeur indiquée par un appareil de mesure ou un système de mesure, ou les valeurs représentées par une mesure matérialisée ou par un matériau de référence, et les valeurs correspondantes de la grandeur réalisées par des étalons

[CEI 60050-394, 394-40-43]

3.5

puissance incidente

$P_{f,x}$

puissance fournie au système d'essai de la FAR, enregistrée pendant la mesure du champ en un seul emplacement, x , dans le volume d'essai

NOTE La puissance incidente est exprimée en watts (W).

3.6

enceinte complètement anéchoïque

FAR⁵

enceinte blindée dont toute la surface interne est tapissée par un matériau absorbant les fréquences radioélectriques (c'est-à-dire un absorbant RF) et qui absorbe l'énergie électromagnétique dans la gamme de fréquences d'intérêt

⁴ AE = Associated equipment.

⁵ FAR = Fully anechoic room.

3.7

système d'essai d'une enceinte complètement anéchoïque **système d'essai d'une FAR**

système d'essai constitué d'une FAR et d'un moyen de générer et/ou de mesurer des champs électromagnétiques

NOTE Il comprend la plupart du temps une FAR, une antenne, ainsi que d'autres matériels auxiliaires et le câblage correspondant.

3.8

distance de mesure

d_{mesure}

distance utilisée pour les essais/mesures de l'EUT et mesurée depuis le point de référence de l'antenne d'émission/réception jusqu'à la périphérie de l'EUT en son point le plus proche sur l'axe de mesure

NOTE La distance de mesure est exprimée en mètres (m); elle est illustrée aux Figures A.1 et B.1.

3.9

puissance incidente normalisée

$P_{\text{fn},x}$

puissance incidente requise pour générer une intensité de champ électrique de 1 V/m en un emplacement, x , situé dans le volume d'essai

NOTE La puissance incidente normalisée est exprimée en watts (W).

3.10

polarisation

orientation du vecteur d'un champ électrique rayonné à polarisation rectiligne

3.11

distance de référence

$d_{\text{référence}}$

distance à laquelle une limite est spécifiée

3.12

volume d'essai

volume maximal à l'intérieur de la FAR dans lequel l'EUT et son câblage peuvent être placés

NOTE Voir l'Article 6 pour plus de détails.

3.13

validation

processus confirmant qu'un système de mesure et de commande finalisé (matériel et logiciel) est conforme à l'ensemble de ses exigences de fonctionnement, de performance et d'interface

[CEI 60050-394, 394-40-42]

3.14

distance de validation

$d_{\text{validation}}$

distance utilisée pour les mesures de validation/étalonnage et mesurée depuis le point de référence de l'antenne d'émission/réception jusqu'au volume d'essai en son point le plus proche sur l'axe de mesure

4 Applications de FAR

4.1 Mesurande d'essais d'immunité au rayonnement

La plupart des équipements électroniques sont d'une certaine manière affectés par le rayonnement électromagnétique. Ce rayonnement est souvent généré par des sources d'usage général telles que les petits émetteurs-récepteurs radios portatifs utilisés par le personnel d'exploitation, de maintenance et de sécurité, les émetteurs de radiodiffusion et de télédiffusion à station fixe, les émetteurs radio des véhicules et diverses sources électromagnétiques industrielles.

Dans la gamme des fréquences couvertes par la présente norme, il n'est pas possible d'établir des conditions de champ lointain dans tous les cas (par exemple aux fréquences les plus basses), et par conséquent la grandeur des perturbations simulant le phénomène électromagnétique réel est définie dans la présente norme par la grandeur « intensité de champ électrique ».

Le mesurande permettant d'établir la perturbation souhaitée pour les essais d'immunité est l'intensité du champ électrique (porteur) établie en utilisant le facteur moyen de transduction du système $\bar{C}_{dB}$ à une distance d_{mesure} . Le mesurande est obtenu séparément pour les polarisations horizontale et verticale.

4.2 Mesurande pour les mesures d'émissions rayonnées

Le mesurande dans une FAR de mesure des émissions rayonnées est l'intensité de champ rayonné par l'EUT et obtenue à la distance de mesure d_{mesure} en utilisant une antenne à polarisation rectiligne et en appliquant le facteur moyen de transduction du système, $\bar{C}_{dB}$, à la tension maximale mesurée au point de raccordement de la réception. Le mesurande est obtenu de manière séparée pour les polarisations horizontale et verticale de l'antenne réceptrice et exprimé comme un résultat à la distance de référence $d_{référence}$ spécifiée dans les normes de produits.

5 Procédure de validation et d'étalonnage de la FAR

5.1 Généralités

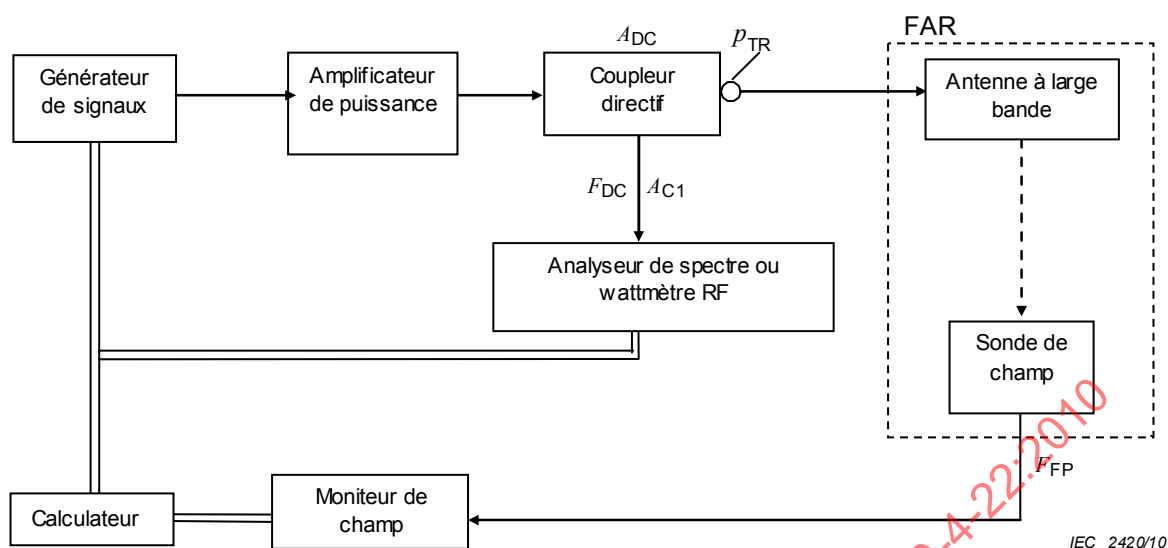
Cet article définit les exigences de performance et la procédure de validation harmonisée d'une FAR utilisée tant pour les mesures d'émissions rayonnées que pour les essais d'immunité aux émissions rayonnées.

5.2 Montages de validation

Les Figures 1 à 4 présentent divers synoptiques de montages qui peuvent être utilisés indifféremment pour la procédure de validation. Toutes les variantes de montage utilisent un point de référence de transducteur (P_{TR}) dont le facteur moyen de transduction du système (voir 5.4) est déterminé par le processus de validation.

L'instrumentation principale nécessaire à chacun de ces montages est résumée dans la liste à puces suivante et décrite plus loin dans la liste de a) à k):

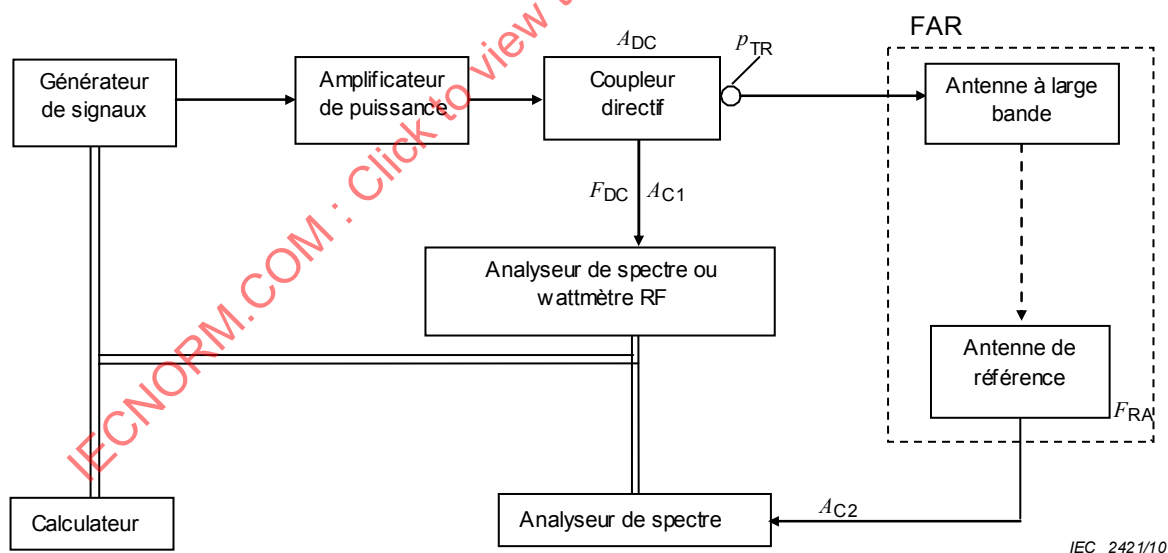
- Type 1 (Figure 1): générateur de signaux, analyseur de spectre ou wattmètre, sonde de champ
- Type 2 (Figure 2): générateur de signaux, analyseur de spectre ou wattmètre, antenne de référence
- Type 3 (Figure 3): analyseur de réseau, antenne de référence
- Type 4 (Figure 4): analyseur de réseau, amplificateur de puissance, antenne de référence



Légende:

- A_{C1} Affaiblissement dû au câble entre coupleur directif et analyseur de spectre ou wattmètre (dB)
- F_{FP} Facteur d'étalonnage de la sonde de champ (en échelle linéaire)
- A_{DC} Affaiblissement dû au coupleur directif entre puissance d'entrée et puissance de sortie (dB)
- F_{DC} Affaiblissement de couplage du coupleur directif entre puissance d'entrée et puissance incidente de sortie (dB)
- p_{TR} Point de référence du transducteur

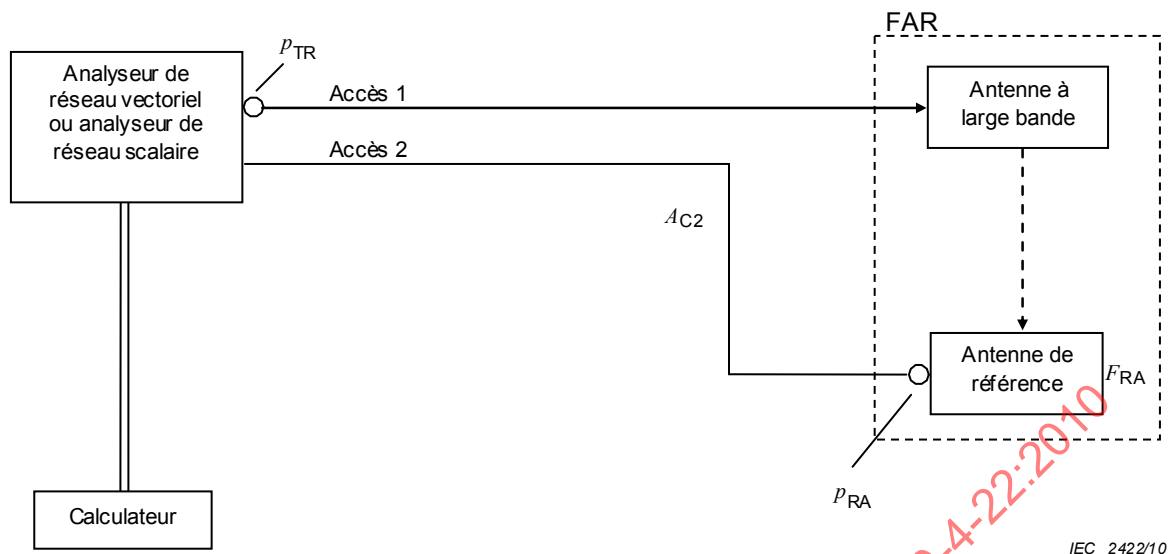
Figure 1 – Synoptique de validation de type 1



Légende:

- A_{C1} Affaiblissement dû au câble entre coupleur directif et analyseur de spectre ou wattmètre (dB)
- A_{C2} Affaiblissement dû au câble entre antenne de référence et analyseur de spectre (dB)
- F_{RA} Facteur d'antenne de l'antenne de référence [dB(1/m)]
- A_{DC} Affaiblissement dû au coupleur directif entre puissance d'entrée et puissance de sortie (dB)
- F_{DC} Affaiblissement de couplage du coupleur directif entre puissance d'entrée et puissance incidente de sortie (dB)
- p_{TR} Point de référence du transducteur

Figure 2 – Synoptique de validation de type 2



Légende:

F_{RA}	Facteur d'antenne de l'antenne de référence [dB(1/m)]
----------	---

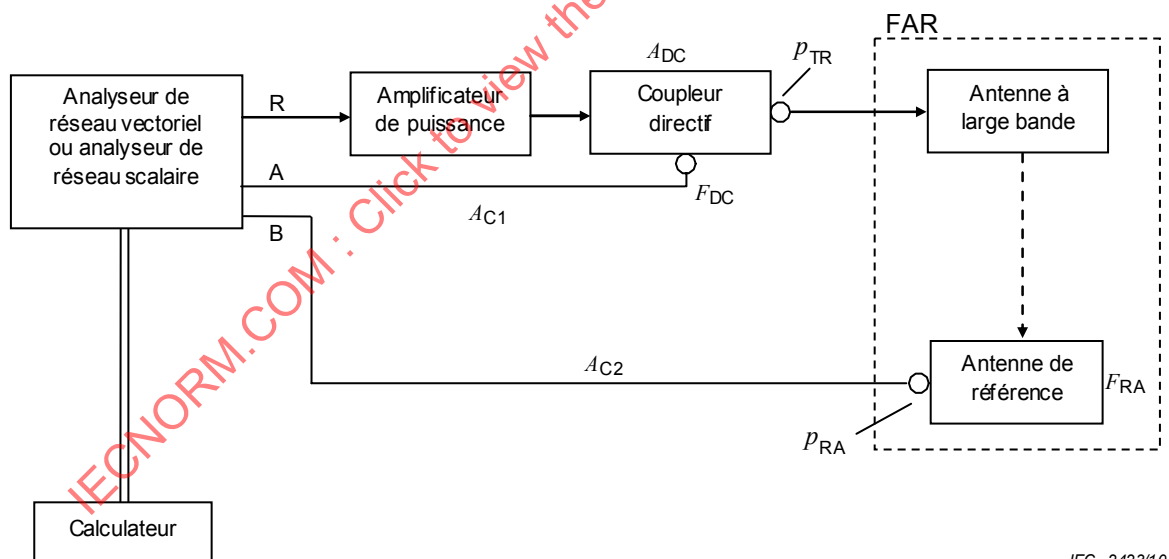
A_{G2} Affaiblissement dû au câble entre antenne de référence et analyseur de spectre (dB)

p_{RA} Point de référence de l'antenne de référence

p_{TR} Point de référence du transducteur

NOTE Une autre méthode consiste à déterminer l'affaiblissement dû au câble entre l'antenne de référence et l'analyseur de réseau, en normalisant l'analyseur de réseau (dans ce cas, les points p_{TR} et p_{RA} sont reliés).

Figure 3 – Synoptique de validation de type 3



Légende:

A_{C1} Affaiblissement dû au câble entre coupleur directif et analyseur de spectre ou wattmètre (dB)

A_{C2} Affaiblissement dû au câble entre antenne de référence et analyseur de spectre (dB)

F_{RA}	Facteur d'antenne de l'antenne de référence [dB(1/m)]
----------	---

A_{DC} Affaiblissement dû au coupleur directif entre puissance d'entrée et puissance de sortie (dB)

F_{DC}	Affaiblissement de couplage du coupleur directif entre puissance d'entrée et puissance incidente de sortie (dB)
----------	---

p_{TR} Point de référence du transducteur

p_{RA} Point de référence de l'antenne de référence

R,A,B Accès de l'analyseur de réseau – accès de sortie R, accès d'entrée A et B

Figure 4 – Synoptique de validation de type 4

Les composants suivants font partie du montage de validation d'une FAR. Le Tableau 1 donne une liste des composants requis pour les différents types de montages.

a) Enceinte complètement anéchoïque (FAR)

Le volume d'essai et la distance de validation doivent être préalablement spécifiés conformément à la Figure 5 (voir 5.5) et aux définitions 3.12, 3.14.

b) Antenne à large bande

La position de l'antenne à large bande est fixe dans l'enceinte.

NOTE 1 Le facteur d'antenne généralement fourni avec l'antenne n'est pas nécessaire car il est déterminé dans le cadre du facteur de transduction du système d'essai de la FAR pendant validation/étalonnage.

c) Wattmètre RF, voltmètre sélectif ou analyseur de spectre

d) Coupleur directif

e) Sonde de champ isotrope et moniteur

f) Antennes de référence

Les antennes de référence doivent être conformes aux spécifications du 5.4.2.3 de la CISPR 16-1-4 pour la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 GHz et du 8.3.3.1 du CISPR 16-1-4 pour la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz.

g) Câble de raccordement à l'antenne à large bande

Dans l'installation, l'acheminement du câble jusqu'à l'antenne à large bande doit être fixe.

NOTE 2 L'affaiblissement dû au câble de raccordement à l'antenne à large bande est déterminé dans le cadre du facteur de transduction du système de la FAR au cours de la validation/l'étalonnage correspondant.

NOTE 3 Il est en général recommandé d'installer horizontalement le câble de raccordement à l'antenne à large bande, depuis l'antenne jusqu'aux absorbeurs de revêtement sur la paroi arrière, puis de l'installer verticalement contre les absorbeurs au plancher. Ceci permet de réduire l'influence du câble.

h) Autres câbles RF

Les caractéristiques des autres câbles RF doivent être déterminées au cours d'un étalonnage préalable. Les éventuelles différences entre les câbles utilisés pour cet étalonnage et les essais ultérieurs peuvent être caractérisées de manière séparée.

i) Source de signaux

Générateur RF capable de produire un signal stable.

j) Amplificateur de puissance

La puissance de sortie doit être surveillée au cours de ce processus de validation/étalonnage ainsi que pendant les essais d'immunité (voir 5.2 c) et d)). Se reporter à l'Annexe A pour la prise en compte des harmoniques et des caractéristiques de compression.

k) Analyseur de réseau scalaire ou vectoriel

Instrument de mesure de la fonction de transfert entre deux points (S_{21}) ou du rapport de deux signaux (sans pontage).

Tableau 1 – Composants requis pour les différents types de montages de validation

Composants ¹⁾	Montage de validation ¹⁾			
	Type 1	Type 2	Type 3	Type 4
a) <u>Enceinte complètement anéchoïque</u> (FAR)	x	x	x	x
b) Antenne à large bande	x	x	x	x
c) Wattmètre RF	x	x	–	–
d) Coupleur directif	x	x	–	x
e) Sonde de champ isotrope et moniteur	x	–	–	–
f) Antenne de référence	–	x	x	x
g) Câble de raccordement à l'antenne à large bande	x	x	x	x
h) Autres câbles RF	x	x	x	x
i) Source de signaux	x	x	–	–
j) Amplificateur de puissance	x	x	–	x
k) Analyseur de réseau scalaire	–	–	x	x
¹⁾ Les lettres précédant un composant correspondent aux points détaillés en 5.2.				
²⁾ "x" indique un composant requis "–" indique un composant non requis				

5.3 Description de l'installation d'essai

5.3.1 Généralités

Pour les besoins de validation de la FAR, les paramètres décrits de 5.3.2 à 5.3.8 doivent être spécifiés et clairement documentés, avec des descriptions textuelles et des photographies dans le rapport de validation.

5.3.2 Volume d'essai

Le volume d'essai est un cylindre qui doit contenir les dimensions maximales de l'EUT, y compris son câblage, comme décrit à l'Article 6. Les paramètres suivants du volume d'essai spécifié doivent être clairement définis: le diamètre du volume, l'emplacement du centre de la surface inférieure du volume et la hauteur.

5.3.3 Antenne à large bande

L'antenne à large bande doit être placée en position fixe à l'extérieur du volume d'essai dans une FAR. La hauteur d'antenne est généralement réglée au centre du volume d'essai. L'antenne à large bande est utilisée comme antenne réceptrice pour les mesures des émissions et en tant qu'antenne émettrice pour l'essai de validation/étalonnage ainsi que pour les essais d'immunité ultérieurs. Le processus de validation/étalonnage doit être réalisé pour chaque jeu d'antennes (par exemple pour couvrir différentes gammes de fréquences) utilisé pour les essais d'immunité ou les mesures d'émissions.

5.3.4 Câbles d'antenne

Les réflexions des câbles d'antenne peuvent affecter des résultats obtenus lors des essais dans la FAR, il convient donc de prendre en considération leur conception et emplacement. Les longueurs des câbles d'antenne situés dans une FAR et menant à l'antenne à large bande doivent être disposées de la même manière pendant la validation de la FAR que pendant les essais de produit dans la FAR. Toutes les ferrites placées sur le câble d'antenne doivent être présentes tant pour les essais de validation que pour les essais ultérieurs de l'EUT.

5.3.5 Table de montage

Il est recommandé d'utiliser des tables de montage réalisées en matériaux à faible permittivité et non-conducteurs. Il n'est pas nécessaire d'inclure dans la validation de l'installation décrite en 5.6 une table de montage conçue pour installation dans le volume d'essai et amovible. Une table de montage placée à l'extérieur du volume d'essai et toujours utilisée pour les essais de l'EUT doit être considérée comme faisant partie de la FAR et doit être en place au cours de la procédure de validation décrite en 5.6.

5.3.6 Plateau tournant

L'installation minimale recommandée comporte un plateau tournant télécommandé placé dans le volume d'essai. L'installation doit être validée/étalonnée avec le plateau tournant, le câblage d'alimentation et de communication dans leur emplacement type, et comme utilisé pour les essais de l'EUT.

5.3.7 Changeur automatisé de polarisation de l'antenne

Pour réduire la durée de l'essai, il est recommandé d'utiliser un changeur automatisé de polarisation de l'antenne, commandé par ordinateur.

5.3.8 Configuration des absorbeurs

La configuration des absorbeurs utilisés pour l'essai de validation doit être identique à celle utilisée pour les essais ultérieurs de l'EUT.

5.4 Définition des grandeurs à déterminer par la procédure de validation de la FAR

Les grandeurs à déterminer pour chaque emplacement d'échantillonnage par la procédure de validation de la FAR sont décrites dans ce paragraphe. Le facteur de transduction du système, $C_{dB,x}$, en dB(1/m), pour un emplacement individuel donné, désigné par x :

$$C_{dB,x} = 20 \log(f_{MHz}) - 15 - 10 \log \left(\frac{d_x^2}{P_{fn,x}} \right) \quad (1)$$

où

f_{MHz} est la fréquence en MHz;

d_x est la distance entre le point de référence de l'antenne à large bande et le point de référence de la sonde de champ ou de l'antenne de référence, en m (voir 5.5 pour plus de détails);

$P_{fn,x}$ est la puissance incidente normalisée en W, donnée par:

$$P_{fn,x} = \frac{P_{f,x}}{E_x^2} \quad (2)$$

où

$P_{f,x}$ est la puissance incidente au point de référence du transducteur, P_{TR} en W;

E_x est l'intensité de champ électrique correspondante à l'emplacement x , en V/m.

NOTE L'annexe C donne le contexte et la justification des relations indiquées dans les équations (1) et (2).

A partir des facteurs individuels de transduction du système $C_{dB,x}$, le facteur moyen de transduction du système, $\bar{C}_{dB}$ (comme défini en 3.3) peut être déduit en utilisant l'équation (3):

$$\bar{C}_{dB} = \sum_{x=1}^n \frac{C_{dB,x}}{n} \quad (3)$$

où n est le nombre de points d'échantillonnage, comme déterminé selon la procédure décrite en 5.5.

L'écart-type des échantillons recueillis est calculé en utilisant l'équation (4) séparément pour chaque polarisation d'antenne. Cette grandeur est utilisée pour comparaison avec le critère de validation du 5.7.

$$s_{dB,C} = \sqrt{\frac{1}{n-1} \times \sum_{x=1}^n (C_{dB,x} - \bar{C}_{dB})^2} \quad (4)$$

L'écart-type du facteur moyen de transduction du système, $s_{dB,\bar{C}}$, est calculé pour chaque polarisation d'antenne en utilisant l'équation (5). Cette grandeur est importante pour l'estimation de l'incertitude pour les essais ultérieurs de l'EUT [c'est-à-dire voir point 8 du D.1.3 et point 9 du D.2.4].

$$s_{dB,\bar{C}} = \frac{s_{dB,C}}{\sqrt{n}} \quad (5)$$

5.5 Emplacements d'échantillonnage exigés pour la validation de la FAR

Pour la procédure décrite dans le présent paragraphe, les caractéristiques d'une FAR doivent être mesurées en de multiples emplacements dans le volume d'essai et les résultats sont exprimés comme un facteur moyen de transduction du système et un écart-type (voir 5.4), de manière séparée pour chaque polarisation (horizontale et verticale) de l'antenne.

Les mesures et la validation de la FAR doivent être effectuées pour des polarisations à la fois horizontale et verticale de l'antenne dans les positions suivantes (voir la Figure 5):

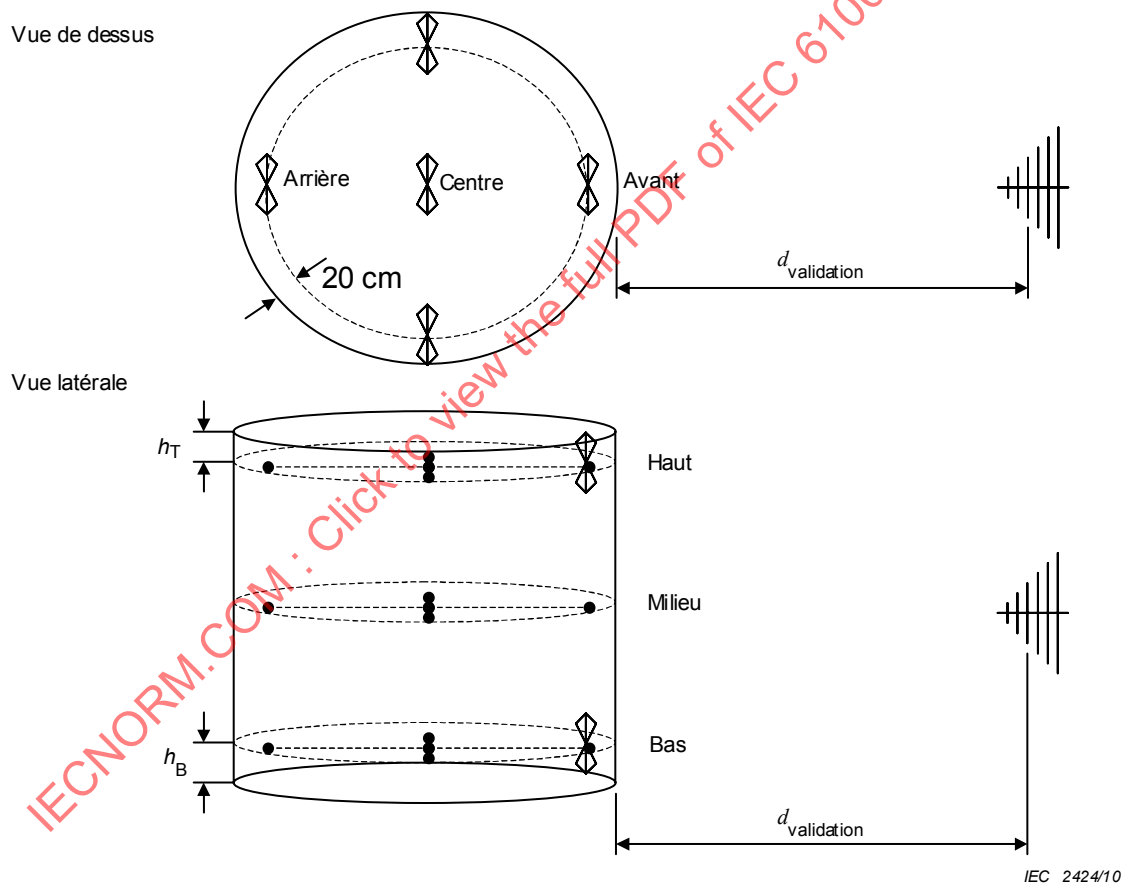
- a) à trois hauteurs du volume d'essai: basse, médiane et haute:
 - 1) hauteur basse h_B , localisée à 25 % de la hauteur du volume d'essai à partir du bas. Cette hauteur doit au minimum être de 20 cm lorsque la hauteur du volume d'essai est inférieure à 80 cm, et doit être de 50 cm lorsque la hauteur du volume d'essai est supérieure à 2 m;
 - 2) hauteur haute h_T , localisée à 25 % de la hauteur du volume d'essai à partir du haut. Cette hauteur doit au minimum être de 20 cm lorsque la hauteur du volume d'essai est inférieure à 80 cm, et doit être de 50 cm lorsque la hauteur du volume d'essai est supérieure à 2 m;
 - 3) hauteur médiane, localisée à 50 % de la hauteur du volume d'essai.
- b) en cinq positions dans les trois plans horizontaux: au centre, à gauche, à droite, à l'avant et à l'arrière dans chaque plan horizontal.

La position de l'antenne à large bande en hauteur à l'extérieur du volume d'essai doit être réglée et maintenue fixe au centre et à la hauteur du volume d'essai, comme illustré à la Figure 5. Il ne doit pas y avoir d'inclinaison de l'antenne à large bande, c'est-à-dire que pour toutes les mesures, son axe de visée doit rester aligné sur l'axe principal de mesure. La sonde de champ ou l'antenne de référence placée dans le volume d'essai doit être orientée

ou inclinée de manière à faire face à l'antenne à large bande. La position de l'antenne à large bande (y compris sa hauteur) doit être identique à celle utilisée ultérieurement pour les essais de l'équipement.

La distance entre le point de référence de l'antenne à large bande et la position avant du volume d'essai est $d_{\text{validation}}$. Les mâts d'antenne et les planchers ou structures de support doivent être en place au cours de la procédure de validation. Il est à noter que pour cette procédure seule la sonde de champ ou l'antenne de référence est déplacée dans le volume d'essai – l'antenne à large bande n'est pas déplacée au cours de la validation, et par conséquent la distance réelle de séparation d_x entre l'antenne à large bande et chaque emplacement d'échantillonnage variera en fonction de l'emplacement d'échantillonnage. À noter également que la distance réelle de séparation doit être enregistrée pour chaque emplacement d'échantillonnage et utilisée comme d_x dans l'Equation (1).

Les emplacements d'échantillonnages doivent être localisés en des points tels que le centre de phase de l'antenne de référence ou de la sonde de champ doit toujours être au minimum à 20 cm à l'intérieur du volume d'essai.



NOTE Les paramètres sont décrits en 5.5. Le cylindre formé par les traits pleins représente le volume d'essai.

Figure 5 – Emplacement des points de prélèvement pour la validation de la FAR

5.6 Procédure de validation de la FAR

5.6.1 Généralités

Configurer l'appareillage de mesure comme indiqué aux Figures 1, 2, 3 ou 4. Placer la sonde ou l'antenne de référence à l'un des emplacements illustrés à la Figure 5 et régler l'antenne à large bande en polarisation horizontale.

Les différentes étapes pour les quatre types de montage de 5.2 sont décrites de 5.6.2 à 5.6.5. Les calculs du facteur moyen de transduction du système et de l'écart-type sont décrits en 5.6.6.

5.6.2 Montage de validation de type 1

Les étapes suivantes doivent être appliquées lorsqu'on utilise un montage de validation de type 1.

- a) Régler la sonde de champ en mode unidirectionnel de façon à mesurer la polarisation appropriée.
- b) Régler le générateur de signaux sur la première fréquence présentant un intérêt.
- c) Régler la puissance du générateur de signaux ou de l'amplificateur sur un niveau de porteuse fixe qui produira une intensité de champ de validation E_x appropriée. Le niveau absolu d'intensité de champ et/ou de puissance n'a aucun effet sur le résultat des mesures.

NOTE 1 Le générateur de signaux/amplificateur doit être réglé à un niveau de puissance inférieur à sa puissance de sortie maximale, de manière à réduire l'éventuelle influence des harmoniques sur les résultats de mesure.

- d) Enregistrer les paramètres suivants:
 - la puissance indiquée au point de mesure du wattmètre, $P_{f,ind,x}$ en dBm,
 - l'intensité de champ indiquée sur la sonde de champ isotrope $E_{ind,x}$ en V/m,
 - la distance d_x entre l'antenne à large bande et la sonde de champ.
- e) Procéder par incréments de fréquence de 1 % au maximum et répéter les étapes c) et d) jusqu'à ce que la dernière fréquence soit atteinte.
- f) Calculer le facteur de transduction du système pour l'emplacement x et pour chaque fréquence:

$$C_{dB,x} = 20\log(f_{MHz}) - 15 - 20\log(d_x) - P_{f,ind,x} - 30 + A_{C1} + F_{DC} - A_{DC} - 20\log(F_{FP} \times E_{ind,x}) \quad (6)$$

NOTE 2 Les paramètres sont définis dans la Figure 1.

- g) Répéter les étapes a) à f) pour chaque emplacement d'échantillonnage.
- h) Répéter les étapes a) à g) pour la polarisation verticale.

5.6.3 Montage de validation de type 2

Les étapes suivantes doivent être appliquées lorsqu'on utilise un montage de validation de type 2.

- a) Régler le générateur de signaux sur la première fréquence présentant un intérêt.
Régler la puissance du générateur de signaux ou de l'amplificateur sur un niveau de porteuse fixe qui produira une intensité de champ de validation E_x appropriée. Le niveau absolu d'intensité de champ et/ou de puissance n'a aucun effet sur le résultat des mesures.

NOTE 1 Le générateur de signaux/amplificateur doit être réglé à un niveau de puissance inférieur à sa puissance de sortie maximale, de manière à réduire l'éventuelle influence des harmoniques sur les résultats de mesure.

- b) Enregistrer les paramètres suivants:
 - la puissance indiquée par le wattmètre $P_{f,ind,x}$ en dBm,
 - la tension indiquée par l'analyseur de spectre $V_{ind,x}$ en dB(μV),
 - la distance d_x entre l'antenne à large bande et l'antenne de référence.
- c) Procéder par incréments de fréquence de 1 % au maximum et répéter les étapes a) et b) jusqu'à ce que la dernière fréquence soit atteinte.

- d) Calculer le facteur de transduction du système pour l'emplacement x et pour chaque fréquence:

$$C_{dB,x} = 20\log(f_{MHz}) - 15 - 20\log(d_x) + P_{f,ind,x} - 30 + A_{C1} + F_{DC} - A_{DC} - E_{ind,x} \quad (7)$$

où

$$E_{ind,x} = V_{ind,x} + A_{C2} + F_{RA} - 120 \quad (8)$$

NOTE 2 Les paramètres sont définis dans la Figure 2.

- e) Répéter les étapes a) à d) pour chaque emplacement d'échantillonnage.
f) Répéter les étapes a) à e) pour la polarisation verticale.

5.6.4 Montage de validation de type 3

Les étapes suivantes doivent être appliquées lorsqu'on utilise un montage de validation de type 3.

- a) Avant la mesure, effectuer une normalisation de l'analyseur de réseau.
b) Régler la fréquence de début et de fin de l'analyseur de réseau. Les pas d'incrément de la fréquence doivent être les suivants:
- de 30 MHz à 80 MHz: $f_{pas} \leq 1 \text{ MHz}$
 - de 80 MHz à 500 MHz: $f_{pas} \leq 2 \text{ MHz}$
 - de 500 MHz à 1 GHz: $f_{pas} \leq 5 \text{ MHz}$
 - de 1 GHz à 18 GHz: $f_{pas} \leq 50 \text{ MHz}$
- c) Mesurer et enregistrer $S_{21,x}$ en dB.
d) Calculer le facteur de transduction du système pour l'emplacement x et pour chaque fréquence:

$$C_{dB,x} = 20\log(f_{MHz}) - 32 - 20\log(d_x) - S_{21,x} - A_{C2} - F_{RA} \quad (9)$$

NOTE Les paramètres sont définis dans la Figure 3.

- e) Répéter les étapes a) à d) pour chaque emplacement d'échantillonnage.
f) Répéter les étapes a) à e) pour la polarisation verticale.

5.6.5 Montage de validation de type 4

Les étapes suivantes doivent être appliquées lorsqu'on utilise un montage de validation de type 4.

- a) Avant la mesure, effectuer une normalisation de l'analyseur de réseau.
b) Régler la fréquence de début et de fin de l'analyseur de réseau. Les pas d'incrément de la fréquence doivent être les suivants:
- de 30 MHz à 80 MHz: $f_{pas} \leq 1 \text{ MHz}$
 - de 80 MHz à 500 MHz: $f_{pas} \leq 2 \text{ MHz}$
 - de 500 MHz à 1 GHz: $f_{pas} \leq 5 \text{ MHz}$
 - de 1 GHz à 18 GHz: $f_{pas} \leq 50 \text{ MHz}$
- c) Sélectionner une puissance de sortie de l'analyseur de réseau qui fournira une intensité de champ de validation E_x appropriée. Les résultats de mesures sont indépendants du niveau absolu d'intensité de champ et/ou de puissance.
d) Mesurer et enregistrer le rapport B/A ($R_{BA,x}$ en dB).

- e) Calculer le facteur de transduction du système pour l'emplacement x et pour chaque fréquence:

$$C_{dB,x} = 20\log(f_{MHz}) - 32 - 20\log(d_x) - R_{BA,x} + A_{C1} + F_{DC} - A_{DC} - A_{C2} - F_{RA} \quad (10)$$

NOTE Les paramètres sont définis dans la Figure 4.

- f) Répéter les étapes a) à e) pour chaque emplacement.
g) Répéter les étapes a) à f) pour la polarisation verticale.

5.6.6 Calcul de $\bar{C}_{dB}$ et $s_{dB,C}$ pour tous les types de montages

Pour chaque polarisation et fréquence, calculer le facteur moyen de transduction du système au moyen de l'Equation (3) et l'écart-type des échantillons recueillis au moyen de l'Equation (4).

5.7 Exigence de validation

L'exigence de validation de la FAR est fondée sur l'écart-type des facteurs de transduction du système échantillonnés. L'écart-type $s_{dB,C}$ pour chaque polarisation doit satisfaire aux critères énumérés dans le Tableau 2.

Tableau 2 – Critères de validation

Gamme de fréquences	Critères de validation
30 MHz à 1 GHz	$s_{dB,C} \leq 1,8$ dB pour l'ensemble des 15 points de prélèvement
1 GHz à 18 GHz	$s_{dB,C} \leq 1,8$ dB pour l'ensemble des 15 points de prélèvement OU les deux critères suivants doivent être satisfaits: $s_{dB,C} \leq 3$ dB pour l'ensemble des 15 points de prélèvement et $s_{dB,C} \leq 1,8$ dB pour les 10 points se trouvant dans les plans supérieur et médian du volume d'essai

La validation s'applique tant que le montage d'essai utilisé n'est pas modifié pour les essais ultérieurs de l'EUT. Par conséquent, le montage de validation (antenne, montage d'absorbeur, câbles, etc.) doit être totalement documenté.

6 Montage d'essai

Les essais doivent être effectués en configurant le matériel en essai (EUT) de manière aussi proche que possible de son utilisation type dans la pratique. Sauf indication contraire, les câbles et conducteurs doivent être tels que spécifiés par le fabricant et l'équipement doit être placé dans son support (ou armoire) avec tous les couvercles et panneaux d'accès en place. Toute déviation des conditions normales de fonctionnement de l'EUT doit être consignée dans le rapport d'essai. Dans toute la mesure du possible, le montage de l'EUT indiqué par les spécifications du fabricant doit prévaloir. Le montage doit être consigné dans le rapport d'essai.

Il n'y a pas de restriction quant à la hauteur de la table de montage pour les équipements sur table ou les équipements posés au sol, à condition que le matériel en essai se trouve entièrement contenu dans le volume d'essai et que l'agencement des câbles satisfasse aux exigences qui suivent.

- a) Il convient de raccorder les câbles, charges et équipements d'interface à au moins un de chacun des types d'accès d'interface de l'EUT, et lorsque cela s'avère pratique, chaque câble doit être raccordé à un équipement typique de son utilisation réelle. Lorsqu'il existe plusieurs accès d'interface du même type, un nombre typique de ces accès doit être raccordé à des équipements ou charges. Il est suffisant de ne connecter qu'une seule des charges à condition de pouvoir démontrer, par exemple par un essai préliminaire, que le raccordement d'accès supplémentaires n'augmenterait pas de manière significative le niveau de perturbation (c'est-à-dire de plus de 2 dB) ou ne dégraderait pas de manière significative le niveau d'immunité. Les justifications concernant la configuration et la charge des accès doivent être consignées dans le rapport d'essai.

- b) Il convient de limiter le nombre de câbles supplémentaires et de s'assurer que l'ajout d'un câble ne réduit pas la marge de 2 dB par rapport à la limite.

NOTE 1 Dans certains cas, l'agencement optimal des fonctionnalités, des charges, des types d'interfaces et des câbles d'essai d'émissions et d'immunité, donne des résultats différents, ce qui peut nécessiter une certaine reconfiguration de l'EUT dans les limites d'une configuration uniforme de cet EUT.

- c) L'agencement et le raccordement des câbles doivent être conformes aux exigences suivantes:

- 1) Lorsque les instructions d'installation du fabricant exigent un agencement spécifique des câbles, ces derniers doivent être acheminés conformément aux dites exigences d'installation. Lorsque rien n'est spécifié ou lorsque les câbles peuvent être acheminés de manière ordinaire, ils doivent être orientés de façon à ne pas exclure un éventuel rayonnement à polarisation verticale et horizontale.

- 2) Une longueur de câble minimale de 1,0 m doit être posée à l'intérieur du volume d'essai (à moins que les spécifications du fabricant n'exigent des câbles plus courts). Les longueurs de câble en excès doivent être disposées en faisceau approximativement au milieu de la longueur du câble afin de former un faisceau de 30 cm à 40 cm de longueur. Si le fabricant ne fournit aucune information quant à l'agencement type des câbles pour l'utilisation normale, la configuration suivante doit être utilisée:

- i) Pour un EUT posé sur table (Figures 6 et 7), les câbles quittant le volume d'essai (c'est-à-dire ceux qui permettent de raccorder l'EUT au monde extérieur) doivent être exposés au champ électromagnétique sur une longueur totale d'au moins 1 m.
- ii) Pour un EUT posé au sol (Figures 8 et 9), les câbles quittant le volume d'essai doivent être disposés avec une longueur horizontale d'au moins 0,3 m placée à l'intérieur du volume d'essai, et avec une longueur verticale disposée conformément à une utilisation représentative et normale (en fonction de la hauteur des accès d'E/S au-dessus du bas du volume d'essai).

- d) Les câbles non raccordés à un autre équipement peuvent être terminés comme suit:

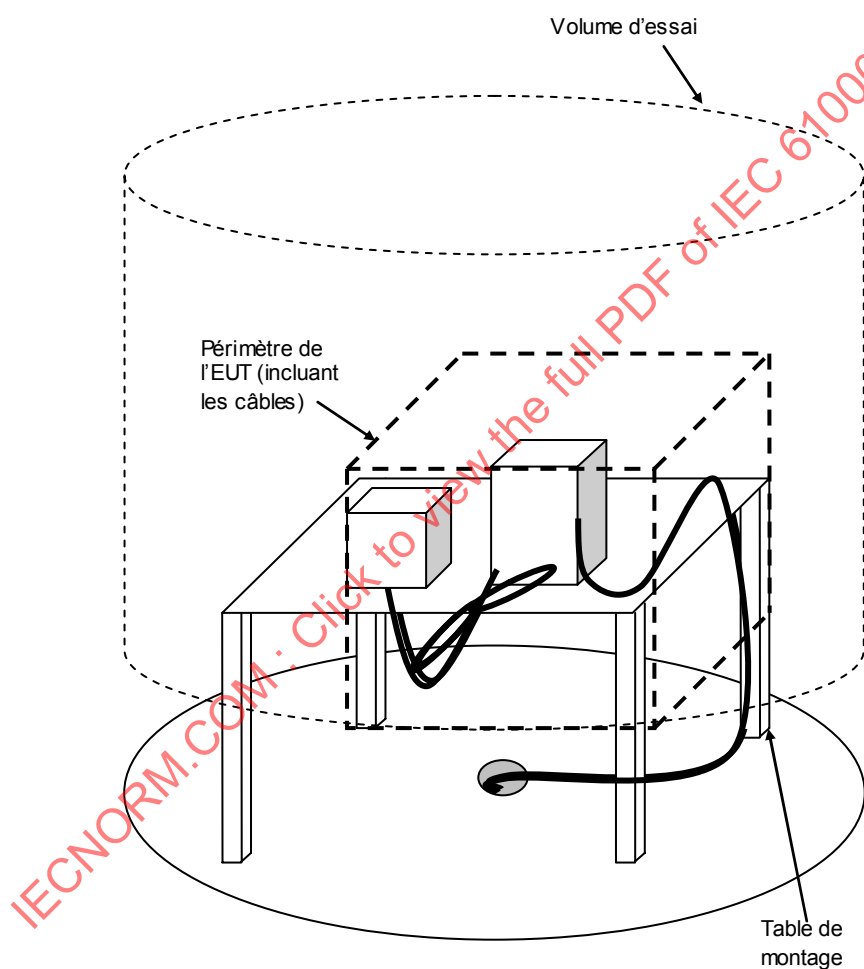
- 1) Le raccordement des câbles coaxiaux blindés doit être coaxial (en général 50 Ω ou 75 Ω).
- 2) Il convient que les raccordements des câbles blindés à plusieurs conducteurs internes soient du type à mode commun et différentiel conformément aux spécifications du fabricant de l'EUT. Cette terminaison en mode commun doit être raccordée de manière appropriée entre les conducteurs internes ou entre leur terminaison en mode différentiel et le blindage du câble.
- 3) Les câbles non blindés doivent avoir un raccordement en mode différentiel conforme aux spécifications du fabricant.

- e) Les éléments supplémentaires suivants doivent être pris en compte dans le montage de l'EUT:

- 1) Si l'EUT requiert des matériels associés (AE, voir définition 3.2) pour fonctionner correctement, on doit s'assurer que l'AE n'affecte ni les mesures d'émissions rayonnées, ni les essais d'immunité aux rayonnements. Les AE peuvent être situés à l'extérieur de la FAR pendant les essais si des interfaces de raccordement appropriées sont disponibles sur le blindage de l'enceinte. Des mesures préventives contre les fuites RF à l'intérieur ou à l'extérieur de la FAR à travers le ou les câbles d'interconnexion peuvent s'avérer nécessaires.

NOTE 2 Un dispositif simulant un réseau de télécommunications est un exemple de matériel associé (AE). Le matériel associé peut être physiquement situé en dehors de l'environnement d'essai.

- 2) Les autres méthodes ou équipements utilisés pour supprimer les émissions indésirables des AE doivent être situés à l'extérieur de l'enceinte d'essai.
- 3) Le montage d'essai, y compris la disposition des câbles, les spécifications des câbles raccordés et de leurs terminaisons, ainsi que d'autres mesures de suppression des émissions des matériels auxiliaires à l'extérieur du volume d'essai, doivent être clairement décrits dans le rapport d'essai.
- 4) Le périmètre de l'EUT est déterminé entre les composants de l'EUT situés dans le volume d'essai, c'est-à-dire lorsque l'exigence de validation est satisfaite. Le périmètre de l'EUT doit comprendre les câbles de raccordement entre les composants de l'EUT mais les câbles qui quittent le volume d'essai ne doivent pas être considérés comme faisant partie du périmètre de l'EUT. Les câbles qui quittent le volume d'essai doivent satisfaire aux exigences d'agencement décrites dans le présent paragraphe.



IEC 2425/10

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

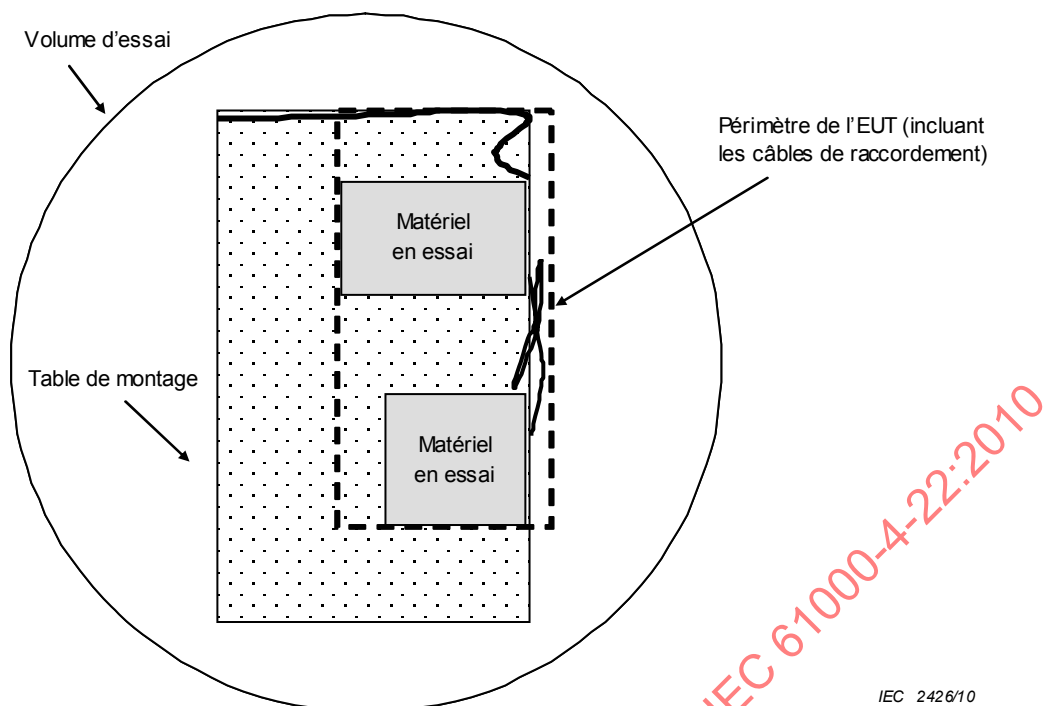


Figure 7 – Exemple de montage d'essai pour un matériel posé sur table, vue de dessus

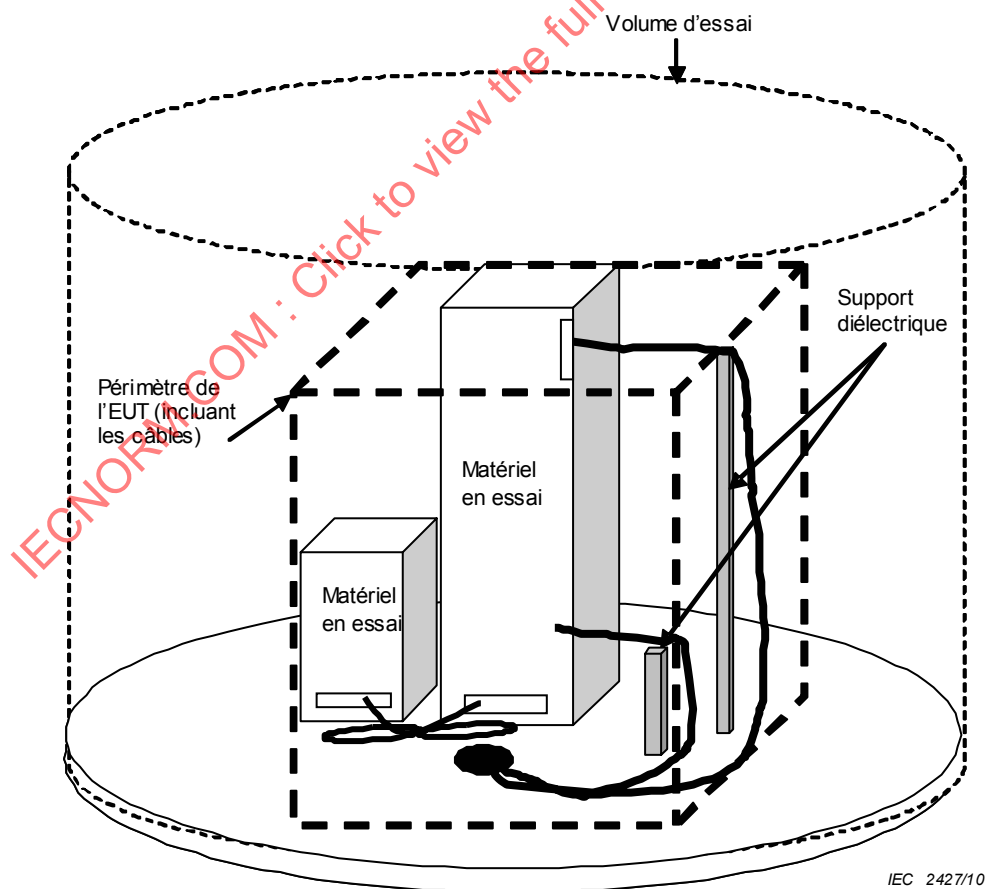


Figure 8 – Exemple de montage d'essai pour un matériel posé au sol

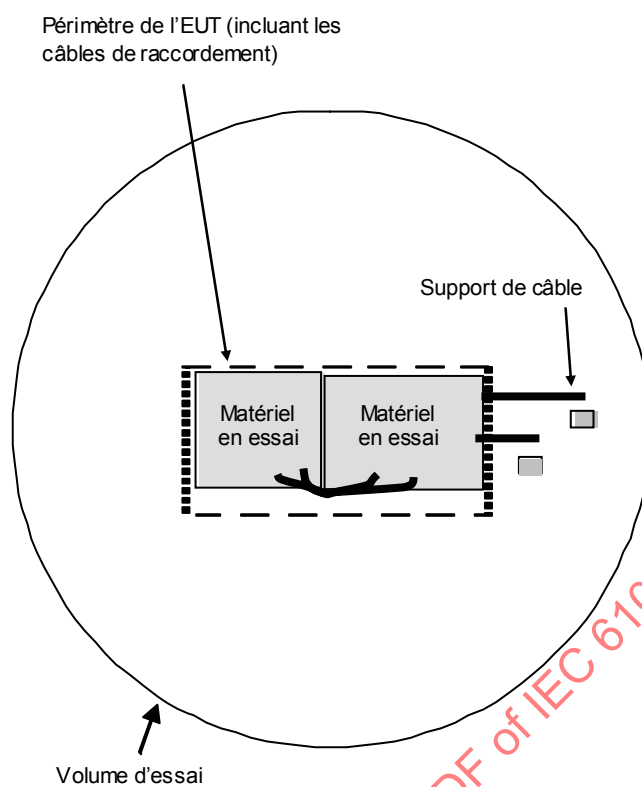


Figure 9 – Exemple de montage d'essai pour un matériel posé au sol, vue de dessus

Annexe A (normative)

Essais d'immunité aux rayonnements

A.1 Généralités

La présente annexe décrit les procédures d'essai d'immunité aux rayonnements dans une FAR.

A.2 Matériel d'essai

Le matériel utilisé pour les essais d'immunité est illustré aux Figures 1 et 2 (voir 5.2). La sonde de champ ou l'antenne de référence n'est pas nécessaire pour les essais d'immunité. D'autres paramètres spécifiques sont énumérés ci-dessous:

- *Générateur(s) de signaux RF*: capable de couvrir la bande de fréquences d'intérêt et d'être modulé en amplitude par une onde sinusoïdale de 1 kHz, à une profondeur de modulation de 80 % ou selon la modulation spécifiée par la norme de produits.
- *Amplificateurs de puissance*: permettant d'amplifier le signal (non modulé et modulé) et d'exciter l'antenne au niveau d'intensité de champ nécessaire. Les harmoniques générés par l'amplificateur de puissance doivent être tels que toute valeur d'intensité de champ mesurée et produite dans la FAR à chaque fréquence d'harmonique doit être d'au moins 6 dB inférieure à celle de la fréquence fondamentale.
- *Filtres CEM*: pouvant être placés entre l'amplificateur de puissance et le coupleur directif afin d'éviter les problèmes engendrés par les harmoniques. On doit s'assurer que les filtres n'introduisent pas des effets de résonance supplémentaires sur les lignes raccordées.
- *Coupleur directif*: permet de mesurer la puissance incidente transmise à l'antenne et le retour de puissance de l'antenne. En général, seule la puissance incidente est utilisée pour l'étalonnage/validation ainsi que pour les essais d'immunité. Il est cependant utile de mesurer également le retour de puissance afin de détecter d'éventuelles connexions manquantes ou médiocres à l'antenne.
- *Wattmètre de puissance incidente et de retour de puissance ou analyseur de spectre*: utilisé en association avec le coupleur directif pour mesurer la puissance incidente et le retour de puissance de l'antenne.
- *Antenne(s) à large bande*: système d'antenne biconique, log-périodique, cornet ou tout autre système d'antenne à polarisation rectiligne capable de satisfaire aux exigences de fréquence.

Des équipements de contrôle supplémentaires doivent être utilisés si nécessaire pour contrôler de l'EUT au cours de l'essai. Les équipements de contrôle appropriés comprennent:

- un système vidéo,
- un système microphonique,
- des sondes de tension et/ou de courant,
- des sondes de signaux numériques (par exemple RS232, RS485, CAN, Ethernet).

On doit veiller à ce que les équipements de contrôle ne soient pas affectés par le champ électromagnétique produit dans la FAR et qu'ils n'influencent pas le comportement de l'EUT. Pour le signal de transmission, il est fortement recommandé d'utiliser de la fibre optique ou des câbles ayant un découplage RF suffisant en mode commun. Il convient dans toute la mesure du possible de placer les équipements de contrôle à l'extérieur de la FAR.

A.3 Procédure de contrôle rapide de la saturation

Cette séquence de contrôle rapide doit être utilisée pour s'assurer que la saturation de l'amplificateur est suffisamment faible. Cette procédure doit être effectuée au moins une fois dans le cadre de la procédure de validation.

NOTE Ce contrôle n'est nécessaire que pour le niveau d'essai le plus élevé.

- Préparer le montage d'essai d'immunité comme illustré à la Figure 1 ou 2 (voir 5.2) en commençant par une polarisation horizontale de l'antenne à large bande.
- Régler le générateur de signaux sur la première fréquence d'essai.
- Calculer la puissance incidente nécessaire $P_{f,t,dBm}$ (au niveau du point de référence d'émission) à partir du facteur moyen de transduction du système:

$$P_{f,t,dBm} = 45 + 20 \log(E_t) + 20 \log(d_{\text{mesure}}) - 20 \log(f_{\text{MHz}}) + \bar{C}_{dB} \quad (\text{A.1})$$

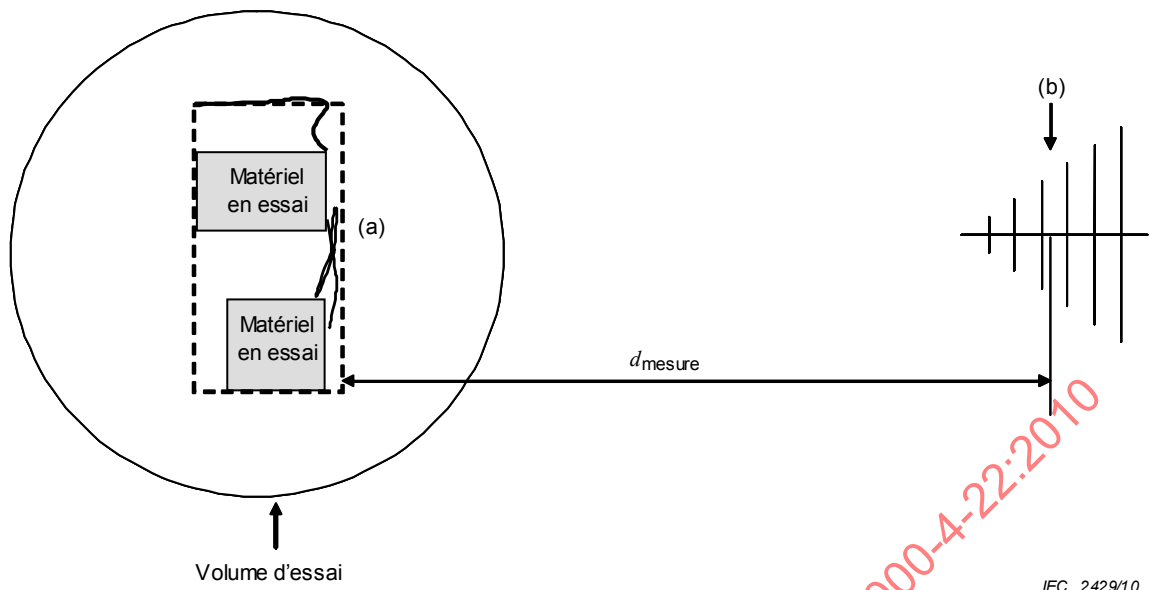
où

- E_t est l'intensité de champ utilisée comme niveau de l'essai d'immunité, en V/m;
- d_{mesure} est la distance entre le point de référence de l'antenne à large bande et la face la plus proche de l'EUT, en m (voir la Figure A.1);
- f_{MHz} est la fréquence en MHz;
- $\bar{C}_{dB}$ est le facteur moyen de transduction du système (en dB/m) déterminé par la procédure de validation.

La puissance incidente est la puissance injectée dans le point de référence du transducteur (P_{TR} , voir les Figures 1 et 2 en 5.2). Pour régler l'appareillage de mesure sur cette puissance d'injection, il est nécessaire de tenir compte de l'affaiblissement dû aux câbles, du couplage du coupleur directif, etc.

La valeur de la puissance incidente requise étant au maximum pour le plus petit EUT (d_{mesure} la plus grande), il convient d'effectuer le contrôle de saturation en tenant compte de cette situation du cas le plus défavorable.

- Régler la puissance de sortie du générateur RF jusqu'à ce que le wattmètre indique la puissance incidente souhaitée, calculée à l'étape c) avec une certaine bande de tolérance. En général, le logiciel de l'essai d'immunité réalise cette étape de manière automatique.
- Enregistrer la valeur affichée sur le wattmètre.
- Augmenter la puissance du générateur RF de 5,1 dB (ceci tient compte de l'augmentation de la puissance de crête en modulation d'un signal modulé en amplitude à 80 %).
- Enregistrer la valeur affichée sur le wattmètre et déterminer la différence par rapport à celle enregistrée au cours de l'étape e). Si la différence s'inscrit dans un intervalle de 3,1 dB à 7,1 dB, la saturation de l'amplificateur est considérée acceptable. Si la différence est inférieure à 3,1 dB ou supérieure à 7,1 dB, l'amplificateur ne permet pas de produire l'intensité de champ d'essai souhaitée.
- Incrémenter la fréquence de 1 % et répéter les étapes c) à g) jusqu'à ce que la dernière fréquence soit atteinte.
- Répéter les étapes b) à h) pour une polarisation verticale de l'antenne à large bande.



Légende

- (a) Face la plus proche de l'enveloppe de l'EUT, y compris les câbles
- (b) Point de référence de l'antenne à large bande

Figure A.1 – Définition de d_{mesure} pour les essais d'immunité

A.4 Procédure d'essai

A.4.1 Généralités

L'essai doit être effectué sur la base d'un plan d'essai qui doit comprendre les modes de fonctionnement pertinents et la vérification des performances de l'EUT, comme défini dans la spécification technique.

L'EUT doit être disposé comme décrit à l'Article 6 et doit être dans l'un des modes de fonctionnement définis dans le plan d'essai.

A.4.2 Processus de réglage du niveau requis

La puissance incidente nécessaire $P_{f,t,dBm}$ (valeur efficace, porteuse, au niveau du p_{TR}) permettant de produire l'intensité de champ d'essai E_t pour chaque fréquence individuelle, doit être calculée à partir du facteur moyen de transduction du système $\bar{C}_{dB}$, c'est-à-dire en utilisant

$$P_{f,t,dBm} = 45 + 20\log(E_t) + 20\log(d_{\text{mesure}}) - 20\log(f_{\text{MHz}}) + \bar{C}_{dB} \quad (\text{A.2})$$

où d_{mesure} est la distance entre le point de référence de l'antenne et la face la plus proche de l'EUT.

L'équipement de contrôle doit régler le générateur RF de façon à ce que la puissance incidente calculée soit atteinte au sein d'une bande de tolérance de puissance donnée.

NOTE 1 Cette bande de tolérance de puissance est normalement spécifiée par l'ingénieur responsable des essais. Il s'agit d'un compromis entre incertitude (voir l'Annexe D) et durée nécessaire pour établir avec exactitude la puissance requise.

L'EUT est éclairé successivement sur ses quatre faces en le faisant tourner. S'il est prévu d'utiliser l'EUT dans d'autres orientations, l'éclairement doit également être étendu aux faces inférieure et supérieure de l'EUT.

NOTE 2 Si un EUT est constitué de plusieurs composants, il n'est pas nécessaire de modifier la position de chaque composant au sein de l'EUT lors de l'éclairement de côtés différents.

Les gammes de fréquences à prendre en compte sont balayées par le signal modulé (modulation d'amplitude à 80 % avec une onde sinusoïdale de 1 kHz ou comme spécifié dans la norme de produits), en marquant des pauses afin de régler le niveau du signal RF ou de commuter les générateurs de signaux et les antennes en fonction des besoins. Lorsque la gamme de fréquences est modifiée par incréments, le pas d'incrémentation ne doit pas dépasser 1 % de la valeur de fréquence précédente.

Le temps de maintien de la porteuse modulée en amplitude à chaque fréquence ne doit pas être inférieur à la durée nécessaire au fonctionnement et à la réaction de l'EUT; dans tous les cas, il ne doit pas être inférieur à 0,5 s. Les fréquences sensibles (par exemple les fréquences d'horloge) doivent être analysées de manière séparée, conformément aux exigences des normes de produits.

La polarisation du champ généré par chaque antenne nécessite deux essais de chaque côté, une fois en plaçant l'antenne verticalement et une autre en plaçant l'antenne horizontalement.

L'EUT doit, dans toute la mesure du possible, être utilisé pleinement au cours des essais afin de pouvoir analyser l'ensemble des modes de fonctionnement critiques choisis pour l'essai d'immunité, comme défini dans le plan d'essai.

Il est recommandé d'utiliser des programmes de fonctionnement particuliers. Ces programmes (ou un renvoi à d'éventuelles descriptions de programmes maîtrisés) doivent être consignés dans le rapport d'essai.

A.4.3 Plan d'essai

Le plan d'essai doit préciser les éléments suivants:

- les dimensions de l'EUT;
- les modes de fonctionnement représentatives de l'EUT;
- le(s) type(s) et le nombre de câbles d'interconnexion utilisés ainsi que l'accès d'interface (de l'EUT) auquel ces câbles doivent être raccordés;
- les critères de performance;
- la description de la méthode utilisée pour le contrôle de l'EUT;
- la gamme de fréquences, le temps de maintien et les pas de fréquence;
- le niveau d'essai à appliquer.

A.4.4 Evaluation des résultats d'essai

Les résultats d'essai doivent être classés en termes de pertes de fonctions ou de dégradation des performances de l'EUT par rapport à un niveau de performance défini par le fabricant ou le demandeur de l'essai, ou comme convenu entre le fabricant et l'acheteur du produit. La classification recommandée est la suivante:

- a) performances normales dans les limites spécifiées par le fabricant, le demandeur ou l'acheteur;
- b) perte temporaire de fonctions ou dégradation temporaire des performances qui cessent une fois les perturbations terminées et avec une récupération des performances normales du matériel en essai sans l'intervention de l'opérateur;

- c) perte temporaire de fonctions ou dégradation temporaire des performances, dont la correction nécessite une intervention de l'opérateur;
- d) perte de fonctions ou dégradation des performances qui n'est pas récupérable, due à un matériel ou à un logiciel endommagé, ou à une perte de données.

Il est admis que la spécification du fabricant définisse des effets sur l'EUT qui peuvent être considérés comme insignifiants et par conséquent acceptables.

Cette classification peut être utilisée comme guide de formulation de critères de performances par les comités responsables de normes génériques, de produits et de familles de produits; ou comme cadre d'accord de critères de performances entre le fabricant et l'acheteur lorsque, par exemple, il n'existe pas de norme générique, de produits ou de famille de produits appropriée.

A.5 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit comprendre toutes les informations nécessaires à la reproduction de l'essai. Les informations suivantes doivent notamment y être enregistrées:

- les éléments spécifiés dans le plan d'essai exigé au A.4.3;
- l'identification de l'EUT et de tout matériel associé, comme par exemple la marque, le type de produit, le numéro de série;
- les éventuelles conditions spécifiques permettant de réaliser l'essai;
- les éventuelles conditions spécifiques d'utilisation, comme par exemple la longueur ou le type de câble, le blindage ou la mise à la terre, ou encore les conditions de fonctionnement de l'EUT nécessaires pour obtenir la conformité;
- une description exhaustive de la position ainsi que de l'orientation des câblages et des équipements (en fournissant par exemple des photographies de l'agencement requis);
- le niveau de performance défini par le fabricant, le demandeur ou l'acheteur;
- le critère de performance spécifié dans la norme générique, de produits ou de famille de produits;
- les éventuels effets sur l'EUT observés pendant ou après l'application des perturbations d'essai et la durée de persistance de ces effets;
- la justification de la décision finale: succès/échec (fondée sur le critère de performance spécifié dans la norme générique, de produits ou de famille de produits, ou comme convenu entre le fabricant et l'acheteur);
- l'identification du matériel d'essai, comme par exemple la marque, le type de produit, le numéro de série;
- les éventuelles conditions environnementales particulières dans lesquelles l'essai a été effectué.

Annexe B (normative)

Mesures des émissions rayonnées

B.1 Généralités

La présente Annexe décrit de manière détaillée les méthodes de mesure des émissions rayonnées dans une FAR.

B.2 Matériel d'essai

Le matériel d'essai est le système d'essai de la FAR utilisé pour la procédure de validation de la FAR décrite à l'Article 5, à l'exception du fait que les amplificateurs de puissance ne sont pas nécessaires aux mesures d'émissions. Le récepteur de mesure utilisé pour les mesures d'émissions doit être conforme à la CISPR 16-1-1.

Les équipements suivants sont exigés pour les mesures d'émissions:

- un analyseur de spectre ou un récepteur conforme à la CISPR 16-1-1;
- une antenne à large bande, le câblage correspondant et la FAR utilisés lors de la détermination du facteur moyen de transduction du système $\bar{C}_{dB}$.

Le résultat de mesure (intensité de champ) est calculé par l'expression:

$$E_{dB(\mu V/m)} = V_{TRP,dB(\mu V)} + \bar{C}_{dB} + 20 \log \left(\frac{d_{mesure}}{d_{référence}} \right) \quad (B.1)$$

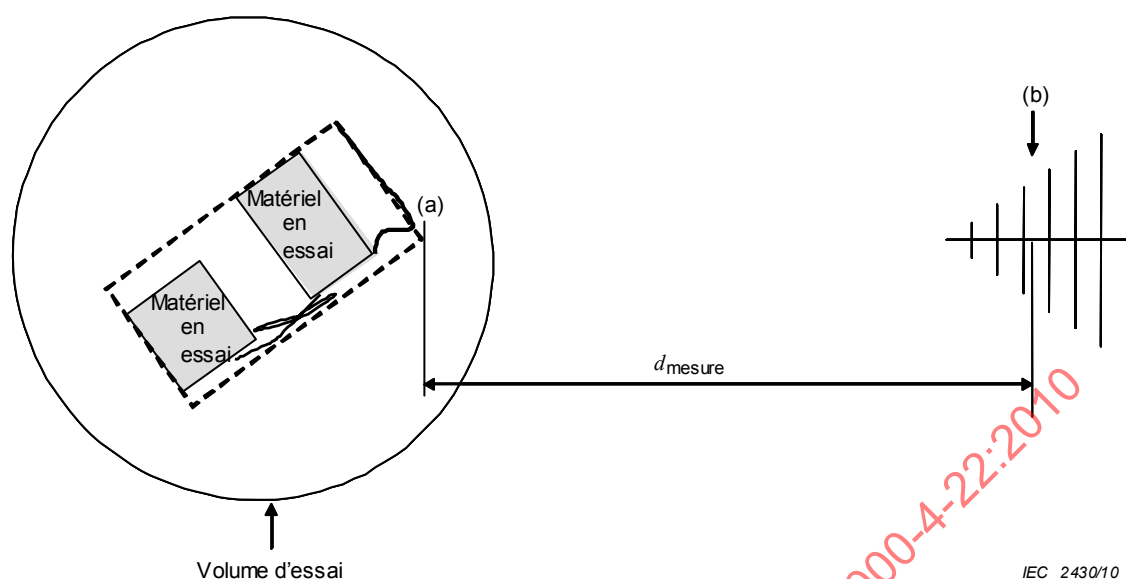
où

$V_{TRP,dB(\mu V)}$ est la tension au point de référence du transducteur, P_{TR} (voir les Figures 1, 2, 3 et 4) exprimée en dB(μV);

d_{mesure} est la distance entre le point de référence de l'antenne et la face la plus proche de l'EUT (voir la Figure B.1);

$d_{référence}$ est la distance de mesure telle que spécifiée dans la norme de produits.

A noter que le facteur moyen de transduction du système comprend l'affaiblissement dû au câble, le facteur d'antenne et l'influence moyenne du site telle que déterminée lors du processus de validation/étalonnage mais ne comprend pas la perte/gain des éventuels équipements qui ne sont pas utilisés lors de la procédure commune de validation/étalonnage des émissions/immunité. Il peut donc s'avérer nécessaire d'effectuer une correction supplémentaire de la valeur relative au câblage associé ou commutateurs supplémentaires, y compris un pré-amplificateur à large bande lorsqu'il est utilisé pour les essais d'immunité, si ces composants n'étaient pas inclus lors de la détermination du facteur $\bar{C}_{dB}$.



Légende

- (a) Point le plus proche de l'enveloppe de l'EUT, y compris les câbles
- (b) Point de référence de l'antenne à large bande

Figure B.1 – Définition de d_{mesure} pour les mesures d'émissions

B.3 Procédure d'essai

B.3.1 Procédure de mesure préliminaire

Des essais préliminaires doivent être effectués afin de déterminer les fréquences d'intérêt auxquelles les procédures d'essai finales décrites en B.3.2 s'appliqueront. Les essais préliminaires doivent également être utilisés pour étudier divers modes de fonctionnement et configurations d'EUT disponibles et ainsi déterminer celui qui générera le niveau d'émissions maximales et par conséquent sera utilisé pour les mesures finales.

NOTE Etant donné que la procédure préliminaire réelle requise peut dépendre des caractéristiques de l'EUT, les recommandations suivantes de a) à e) sont fournies pour information et constituent les lignes directrices pour une procédure de mesure préliminaire. Les lignes directrices relatives à une procédure de mesure préliminaire permettant d'identifier les fréquences et les modes de fonctionnement les plus défavorables pour des émissions rayonnées sont les suivantes:

- a) Utiliser le mode balayage sur l'ensemble de la gamme de fréquences de l'antenne en utilisant la détection de crête et le mode « maintien du maximum ».
- b) Déterminer la durée de balayage permettant d'assurer une interception adéquate du signal.
- c) Si nécessaire, pendant les essais préliminaires, réduire la largeur de bande de résolution en mode balayage afin de baisser le niveau de bruit de l'analyseur de spectre ou du récepteur. A noter que ceci peut réduire l'amplitude des émissions en bande large; de ce fait, des investigations complémentaires peuvent s'avérer nécessaires afin de déterminer si les émissions sont en bande large ou en bande étroite.
- d) Faire tourner l'EUT de façon continue ou par incréments, puis répéter l'opération pour l'autre polarisation. Il convient d'évaluer l'EUT sur 360° en azimut.
- e) Afin de mieux évaluer les fréquences d'émission déterminées, utiliser un balayage à fréquence moindre et effectuer une recherche au voisinage des fréquences proches de la limite en utilisant des incréments supplémentaires plus petits de rotation du plateau tournant.

La procédure de mesure préliminaire choisie constitue une base de sélection de la fréquence et de détermination des modes les plus défavorables de l'EUT. Ceci nécessite généralement l'établissement d'un seuil inférieur à la limite de spécification applicable, fondé sur la procédure de mesure préliminaire appliquée et la réalisation de mesures finales sur toutes les fréquences supérieures ou égales à ce seuil. Par exemple, si la procédure préliminaire donne globalement des résultats s'inscrivant à plus ou moins 10 dB de la procédure de mesure

finale, toutes les fréquences s'inscrivant dans cette limite de 10 dB doivent être étudiées en utilisant la procédure de mesure finale.

B.3.2 Procédure de mesure finale

Pour la procédure de mesure finale, le récepteur de mesure est réglé sur les fréquences déterminées lors des mesures préliminaires. La mesure finale est effectuée à l'angle d'azimut présentant l'indication la plus élevée du récepteur de mesure.

NOTE Si les signaux à mesurer sont par nature à large bande, variables ou s'ils n'ont pas une stabilité suffisante en fréquence, il peut être nécessaire d'effectuer des mesures supplémentaires afin de capturer de manière appropriée les amplitudes d'émissions maximales. Il peut également être nécessaire de réaccorder l'instrument d'essai pour la mesure finale.

B.4 Rapport d'essai

Le rapport d'essai doit indiquer les informations détaillées suivantes concernant la mesure des émissions rayonnées:

- a) les configurations et modes de fonctionnement de l'EUT étudiés au cours de la procédure préliminaire;
- b) la procédure de mesure préliminaire;
- c) le seuil et les procédures utilisés pour la sélection des fréquences de mesures finales;
- d) la procédure de mesure finale;
- e) le rapport des mesures finales indiquant:
 - 1) la fréquence et l'amplitude de chaque émission consignée;
 - 2) le détecteur utilisé;
 - 3) la limite applicable en fonction de la fréquence et du type de détecteur;
 - 4) l'azimut du plateau tournant pour chaque émission;
 - 5) la distance de mesure;
 - 6) la polarisation de l'antenne;
- f) les émissions maximales mesurées, en dB(μ V/m).

Annexe C (informative)

Informations d'ordre général concernant le facteur de transduction du système et la méthode de validation simultanée des émissions/immunité

C.1 Rapports entre les méthodes de validation des installations de mesure des émissions rayonnées et de l'immunité

Pour illustrer le rapport direct qui existe entre la validation conventionnelle de l'affaiblissement normalisé de l'emplacement (ANE) d'installations d'essai d'émissions et la méthode d'étalonnage « à plan uniforme » de [2], il est possible de partir de l'équation de l'affaiblissement normalisé de l'emplacement (ANE), A_N , basé sur [5]:

$$A_N = \frac{V_{\text{direct}}}{V_{\text{site}}} \times \frac{1}{F_{\text{Antenne},1}} \times \frac{1}{F_{\text{Antenne},2}} \quad (\text{C.1})$$

Emplacement antenne antenne

où

A_N	est le ANE;
V_{direct}	est la tension qui apparaît sur un analyseur de spectre ou un récepteur, les câbles d'alimentation étant reliés,
$V_{\text{emplacement}}$	est la tension qui apparaît lors de l'émission d'une antenne à l'autre,
$F_{\text{Antenne},1}$ et $F_{\text{Antenne},2}$	sont les facteurs d'antenne utilisés pour la mesure de l'ANE; ils doivent être déterminés au préalable.

En utilisant la relation entre puissance et tension, V_{direct} peut être réécrite comme suit, si l'on suppose une source, une ligne et une impédance de charge adaptées:

$$V_{\text{direct}} = \sqrt{P_F \times R_L} \quad (\text{C.2})$$

où

P_F	est la puissance incidente présentée au point d'étalonnage,
R_L	est l'impédance de charge du récepteur ou de l'analyseur de spectre, en général 50 ohms.

Par définition du facteur d'antenne, $V_{\text{emplacement}}$ peut également être réécrite de la manière suivante:

$$V_{\text{emplacement}} = \frac{E}{F_{\text{Antenne},2}} \quad (\text{C.3})$$

où

E	est le champ électrique (en V/m) présenté à l'antenne numéro 2 (l'antenne de réception),
-----	--