

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

BASIC EMC PUBLICATION
PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods –

Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements

**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 – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées**



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



INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

BASIC EMC PUBLICATION
PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

**Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods –
Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas
and test sites for radiated disturbance measurements**

**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 – Antennes et emplacements
d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

XD

ICS 33.100.10; 33.100.20

ISBN 978-2-88910-011-8

CONTENTS

FOREWORD.....	6
1 Scope.....	8
2 Normative references.....	8
3 Terms, definitions and abbreviations	9
3.1 Terms and definitions	9
3.2 Abbreviations.....	12
4 Antennas for measurement of radiated radio disturbance	12
4.1 General.....	12
4.2 Physical parameter for radiated emission measurements	12
4.3 Frequency range 9 kHz to 150 kHz	13
4.3.1 General	13
4.3.2 Magnetic antenna	13
4.3.3 Shielding of loop antenna.....	13
4.4 Frequency range 150 kHz to 30 MHz.....	13
4.4.1 Electric antenna.....	13
4.4.2 Magnetic antenna	14
4.4.3 Balance/cross-polar performance of antennas.....	14
4.5 Frequency range 30 MHz to 1 000 MHz.....	14
4.5.1 General	14
4.5.2 Low-uncertainty antenna for use if there is an alleged non-compliance to the <i>E</i> -field limit.....	14
4.5.3 Antenna characteristics.....	14
4.5.4 Balance of antenna	16
4.5.5 Cross-polar response of antenna	18
4.6 Frequency range 1 GHz to 18 GHz.....	18
4.7 Special antenna arrangements – Loop antenna system	19
5 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz.....	19
5.1 General.....	19
5.2 OATS	19
5.2.1 General	19
5.2.2 Weather protection enclosure	20
5.2.3 Obstruction-free area.....	20
5.2.4 Ambient radio frequency environment of a test site.....	21
5.2.5 Ground plane.....	22
5.2.6 OATS validation procedure	22
5.3 Test site suitability for other ground-plane test sites	26
5.3.1 General	26
5.3.2 Normalized site attenuation for alternative test sites	26
5.3.3 Site attenuation.....	30
5.3.4 Conducting ground plane	30
5.4 Test site suitability without ground plane	31
5.4.1 Measurement considerations for free space test sites, as realized by fully-absorber-lined shielded enclosures.....	31
5.4.2 Site performance	32
5.4.3 Site validation criteria.....	40
5.5 Evaluation of set-up table and antenna tower	40

5.5.1	General	40
5.5.2	Evaluation procedure for set-up table influences	40
6	Reverberating chamber for total radiated power measurement	42
6.1	General	42
6.2	Chamber	42
6.2.1	Chamber size and shape.....	42
6.2.2	Door, openings in walls, and mounting brackets	42
6.2.3	Stirrers	43
6.2.4	Test for the efficiency of the stirrers	43
6.2.5	Coupling attenuation	44
7	TEM cells for immunity to radiated disturbance measurement.....	45
8	Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range 1 GHz to 18 GHz.....	45
8.1	General	45
8.2	Reference test site	45
8.3	Validation of the test site.....	45
8.3.1	General	45
8.3.2	Acceptance criterion for site validation	46
8.3.3	Site validation procedures – evaluation of S_{VSWR}	47
8.4	Alternative test sites	59
9	Common mode absorption devices.....	59
9.1	General	59
9.2	CMAD S -parameter measurements	59
9.3	CMAD test jig	59
9.4	Measurement method using the TRL calibration	61
9.5	Specification of ferrite clamp-type CMAD	63
9.6	CMAD performance (degradation) check using spectrum analyzer and tracking generator	63
Annex A (normative)	Parameters of antennas.....	66
Annex B (normative)	Monopole (1 m rod) antenna performance equations and characterization of the associated antenna matching network	73
Annex C (normative)	Loop antenna system for magnetic field induced-current measurements in the frequency range of 9 kHz to 30 MHz.....	78
Annex D (normative)	Construction details for open area test sites in the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz (see Clause 5).....	87
Annex E (normative)	Validation procedure of the open area test site for the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz (see Clause 5).....	91
Annex F (informative)	Basis for 4 dB site acceptability criterion (see Clause 5)	99
Bibliography		101

Figure 1 – Schematic of radiation from EUT reaching an LPDA antenna directly and via ground reflections on a 3 m site, showing the half beamwidth, φ , at the reflected ray.....	15
Figure 2 – Obstruction-free area of a test site with a turntable (see 5.2.3).....	21
Figure 3 – Obstruction-free area with stationary EUT (see 5.2.3)	21
Figure 4 – Configuration of equipment for measuring site attenuation in horizontal polarization (see 5.2.6 and Annex E)	23
Figure 5 – Configuration of equipment for measuring site attenuation in vertical polarization using tuned dipoles (see 5.2.6 and Annex E).....	24

Figure 6 – Typical antenna positions for alternative test site – Vertical polarization NSA measurements	28
Figure 7 – Typical antenna positions for alternative test site – Horizontal polarization NSA measurements	28
Figure 8 – Typical antenna positions for alternative test site – Vertical polarization NSA measurements for a smaller EUT	29
Figure 9 – Typical antenna positions for alternative test site – Horizontal polarization NSA measurements for a smaller EUT	29
Figure 10 – Graph of theoretical free-space NSA as a function of the frequency for different measurement distances (see Equation (10))	33
Figure 11 – Measurement positions for the site validation procedure	35
Figure 12 – Example of one measurement position and antenna tilt for the site validation procedure	36
Figure 13 – Typical free-space reference site attenuation measurement set-up	39
Figure 14 – Position of the antenna relative to the edge above a rectangle set-up table (top view)	42
Figure 15 – Antenna position above the set-up table (side view)	42
Figure 16 – Example of a typical paddle stirrer	43
Figure 17 – Range of coupling attenuation as a function of frequency for a chamber using the stirrer shown in Figure 16	44
Figure 18 – Transmit antenna <i>E</i> -plane radiation pattern example (this example is for informative purposes only)	48
Figure 19 – Transmit antenna <i>H</i> -plane radiation pattern (this example is for informative purposes only)	49
Figure 20 – S_{VSWR} measurement positions in a horizontal plane (see 8.3.3.2.2 for description)	50
Figure 21 – S_{VSWR} positions (height requirements)	52
Figure 22 – Conditional test position requirements	58
Figure 23 – Definition of the reference planes inside the test jig	60
Figure 24 – The four configurations for the TRL calibration	62
Figure 25 – Limits for the magnitude of S_{11} , measured according to provisions of 9.1 to 9.3	63
Figure 26 – Example of a 50 Ω adaptor construction in the vertical flange of the jig	64
Figure 27 – Example of a matching adaptor with balun or transformer	65
Figure 28 – Example of a matching adaptor with resistive matching network	65
Figure A.1 – Short dipole antenna factors for $R_L = 50 \Omega$	69
Figure B.1 – Method using network analyzer	75
Figure B.2 – Method using measuring receiver and signal generator	76
Figure B.3 – Example of capacitor mounting in dummy antenna	76
Figure C.1 – The loop-antenna system, consisting of three mutually perpendicular large-loop antennas	79
Figure C.2 – A large-loop antenna containing two opposite slits, positioned symmetrically with respect to the current probe C	80
Figure C.3 – Construction of the antenna slit	81
Figure C.4 – Example of antenna-slit construction using a strap of printed circuit board to obtain a rigid construction	81
Figure C.5 – Construction for the metal box containing the current probe	82
Figure C.6 – Example showing the routing of several cables from an EUT to ensure that there is no capacitive coupling from the leads to the loop	82

Figure C.7 – The eight positions of the balun-dipole during validation of the large-loop antenna	83
Figure C.8 – Validation factor for a large loop-antenna of 2 m diameter	83
Figure C.9 – Construction of the balun-dipole	84
Figure C.10 – Conversion factors C_{dA} [for conversion into dB(μ A/m)] and C_{dV} (for conversion into dB(μ V/m)) for two standardized measuring distances d	85
Figure C.11 – Sensitivity S_D of a large-loop antenna with diameter D relative to a large-loop antenna having a diameter of 2 m	85
Figure D.1 – The Rayleigh criterion for roughness in the ground plane	88
Table 1 – Normalized site attenuation (recommended geometries for tuned half-wave dipoles with horizontal polarization)	30
Table 2 – Normalized site attenuation* (recommended geometries for broadband antennas).....	31
Table 3 – Maximum dimensions of test volume versus test distance	34
Table 4 – Frequency ranges and step sizes	36
Table 5 – S_{VSWR} test position designations.....	53
Table 6 – S_{VSWR} reporting requirements.....	58
Table E.1 – Normalized site attenuation ^a – Recommended geometries for broadband antennas.....	95
Table E.2 – Normalized site attenuation – Recommended geometries for tuned half-wave dipoles, horizontal polarization.....	96
Table E.3 – Normalized site attenuation – Recommended geometries for tuned half-wave dipoles – vertical polarization.....	97
Table E.4 – Mutual coupling correction factors for geometry using resonant tunable dipoles spaced 3 m apart	98
Table F.1 – Error budget	99

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

**SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY
MEASURING APPARATUS AND METHODS –**

**Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus –
Antennas and test sites for radiated disturbance measurements**

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 CISPR 16-1-4 has been prepared by CISPR subcommittee A: Radio-interference measurements and statistical methods.

This third edition of CISPR 16-1-4 cancels and replaces the second edition published in 2007 and its Amendments 1 (2007) and 2 (2008). It is a technical revision.

This edition includes the following significant technical change with respect to the previous edition: provisions are added to address evaluation of a set-up table in the frequency range above 1 GHz.

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

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

FDIS	Report on voting
CISPR/A/885/FDIS	CISPR/A/891/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 CISPR 16 series, under the general title *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods*, can be found on the IEC website.

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

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

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

SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY MEASURING APPARATUS AND METHODS –

Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements

1 Scope

This part of CISPR 16 specifies the characteristics and performance of equipment for the measurement of radiated disturbances in the frequency range 9 kHz to 18 GHz. Specifications for antennas and test sites are included.

NOTE In accordance with IEC Guide 107, CISPR 16-1-4 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 standard. CISPR and its sub-committees are prepared to co-operate with product committees in the evaluation of the value of particular EMC tests for specific products.

The requirements of this publication apply at all frequencies and for all levels of radiated disturbances within the CISPR indicating range of the measuring equipment.

Methods of measurement are covered in Part 2-3, and further information on radio disturbance is given in Part 3 of CISPR 16. Uncertainties, statistics and limit modelling are covered in Part 4 of CISPR 16.

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

CISPR 16-1-5:2003, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antenna calibration test sites for 30 MHz to 1 000 MHz*

CISPR 16-2-3, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity – Radiated disturbance measurements*

CISPR/TR 16-3:2003, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 3: CISPR technical reports*
Amendment 1(2005)
Amendment 2(2006)

CISPR 16-4-2, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling – Uncertainty in EMC measurements*

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

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

3 Terms, definitions and abbreviations

For the purposes of this document, the following terms, definitions and abbreviations apply, as well as those of CISPR 16-1-1, CISPR 16-1-5, and IEC 60050-161.

3.1 Terms and definitions

3.1.1

antenna

that part of a transmitting or receiving system that is designed to radiate or to receive electromagnetic waves in a specified way

NOTE 1 In the context of this standard, the balun is a part of the antenna.

NOTE 2 This term covers various devices such as the wire antenna, free-space-resonant dipole, hybrid antenna and horn antenna.

3.1.2

balun

passive electrical network for the transformation from a balanced to an unbalanced transmission line or device or vice versa

3.1.3

calibration test site

CALTS

open area test site with metallic ground plane and tightly specified site attenuation performance in horizontal and vertical *E*-field (electric field) polarization

NOTE 1 A CALTS is used for determining the free-space antenna factor of an antenna.

NOTE 2 Site attenuation measurements of a CALTS are used for comparison to corresponding site attenuation measurements of a compliance test site, in order to evaluate the performance of the compliance test site.

3.1.4

common mode absorption device

CMAD

device that may be applied on cables leaving the test volume in radiated emission measurements to reduce the compliance uncertainty

3.1.5

compliance test site

COMTS

environment that assures valid, repeatable measurement results of the disturbance field strength from equipment under test for comparison to a compliance limit

3.1.6

cross-polar response

measure of the rejection by the antenna of the cross-polarized field, when the antenna is rotated in a linearly polarized electromagnetic field that is uniform in phase and amplitude over the aperture of the antenna under test

3.1.7

fully-anechoic room

FAR

shielded enclosure, the internal surfaces of which are lined with radio-frequency-energy absorbing material (i.e. RF absorber) that absorbs electromagnetic energy in the frequency range of interest

3.1.8

free-space-resonant dipole

wire antenna consisting of two straight colinear conductors of equal length, placed end to end, separated by a small gap, with each conductor approximately a quarter-wavelength long such that at the specified frequency, the input impedance of the wire antenna measured across the gap is pure real when the dipole is located in the free space

NOTE 1 In the context of this standard, this wire antenna connected to the balun is also called the "test antenna".

NOTE 2 This wire antenna is also referred to as "tuned dipole".

3.1.9

hybrid antenna

conventional wire-element log-periodic dipole array (LPDA) antenna with boom lengthened at the open-circuit end to add one broadband dipole (e.g. biconical or bow-tie), such that the infinite balun (boom) of the LPDA serves as a voltage source for the broadband dipole

Typically a common-mode choke is used at this end of the boom to minimize parasitic (unintended) RF currents on the outer conductor of the coaxial cable flowing into the receiver.

3.1.10

insertion loss

loss arising from the insertion of a device into a transmission line, expressed as the ratio of voltages immediately before and after the point of insertion of a device under test, before and after the insertion

It is equal to the inverse of the transmission S -parameter, $|1/S_{21}|$.

3.1.11

low-uncertainty antenna

robust biconical or LPDA antenna that meets the balance and cross-polar performance requirements of this standard, and whose antenna factor has an uncertainty of less than $\pm 0,5$ dB, used for the measurement of E -field strength at a defined point in space

NOTE It is further described in A.2.3.

3.1.12

quasi-free space test-site

facility for radiated emission measurements, or antenna calibration, that is intended to achieve free-space conditions

Unwanted reflections from the surroundings are kept to a minimum in order to satisfy the site acceptance criterion applicable to the radiated emission measurement or antenna calibration procedure being considered.

3.1.13

reflection coefficient

ratio of a common quantity to both the reflected and incident travelling waves

Hence, the voltage reflection coefficient is defined as the ratio of the complex voltage of the reflected wave to the complex voltage of the incident wave. The voltage reflection coefficient is equal to the scattering parameter S_{11} .

3.1.14**scattering parameters (*S*-parameters)**

set of four parameters used to describe the properties of a two-port network inserted into a transmission line

3.1.15**semi-anechoic chamber****SAC**

shielded enclosure, in which five of the six internal surfaces are lined with radio-frequency-energy absorbing material (i.e. RF absorber) that absorbs electromagnetic energy in the frequency range of interest, and the bottom horizontal surface is a conducting ground plane for use with OATS test set-ups

3.1.16**short-open-load-through calibration method****SOLT**

through-open-short-match calibration method

TOSM

calibration method for a vector network analyzer using three known impedance standards – short, open, and match/load, and a single transmission standard – through

The SOLT method is widely used, and the necessary calibration kits with 50 Ω characteristic impedance components are commonly available. A full two-port error model includes six error terms for each of the forward and reverse directions, for a total of twelve separate error terms, and requires twelve reference measurements to perform the calibration.

3.1.17**site attenuation**

minimum site insertion loss measured between two polarization-matched antennas located on a test site when one antenna is moved vertically over a specified height range and the other is set at a fixed height

3.1.18**site insertion loss**

loss between a pair of antennas placed at specified positions on a test site, when a direct electrical connection between the generator output and receiver input is replaced by transmitting and receiving antennas placed at the specified positions

3.1.19**test volume**

volume in the FAR in which the EUT is positioned

NOTE In this volume, the quasi-free space condition is met and this volume is typically 0,5 m or more from the absorbing material of the FAR.

3.1.20**through-reflect-line (TRL) calibration**

calibration method for a vector network analyzer using three known impedance standards “through”, “reflect” and “line” for the internal or external calibration of the VNA

Four reference measurements are needed for this calibration.

3.1.21**vector network analyzer****VNA**

network analyzer capable of measuring complex values of the four *S*-parameters S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22}

3.2 Abbreviations

EUT	Equipment under test
FSOATS	Free-space OATS
LAS	Loop antenna system
LLA	Large-loop antenna
LPDA	Log-periodic dipole array
NSA	Normalised site attenuation
OATS	Open-area test site
SA	Site attenuation
SAC	Semi-anechoic chamber
S_{VSWR}	Site voltage standing wave ratio
VSWR	Voltage standing wave ratio

4 Antennas for measurement of radiated radio disturbance

4.1 General

Antennas of the type that are used for radiated emission measurements, having been calibrated, shall be used to measure the field strength, taking into account their radiation patterns and mutual coupling with their surroundings. The antenna and the circuits inserted between it and the measuring receiver shall not appreciably affect the overall characteristics of the measuring receiver. When the antenna is connected to the measuring receiver, the measuring system shall comply with the bandwidth requirements of CISPR 16-1-1 appropriate to the frequency band concerned.

The antenna shall be linearly polarized. It shall be orientable so that all polarizations of incident radiation can be measured. The height of the centre of the antenna above ground or above the absorber in a FAR may have to be adjustable according to a specific test procedure.

The accuracy of field-strength measurement of a uniform field of a sine-wave signal shall be better than ± 3 dB when an antenna meeting the requirements of this subclause is used with a measuring receiver meeting the requirements of CISPR 16-1-1.

NOTE This requirement does not include the effect due to a test site.

For additional information about the parameters of broadband antennas, see Annex A.

4.2 Physical parameter for radiated emission measurements

The physical parameter for radiated emission measurements made against an emission limit expressed in volts per metre is *E*-field measured at a defined point in space relative to the position of the equipment under test (EUT). More specifically, for measurements in the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz on an OATS or in a SAC, the measurand is the maximum field strength as a function of horizontal and vertical polarization and at heights between 1 m and 4 m, and at a horizontal distance of 10 m from the EUT, while the EUT is rotated over all angles in the azimuth plane.

4.3 Frequency range 9 kHz to 150 kHz

4.3.1 General

Experience has shown that, in this frequency range, it is the magnetic field component that is primarily responsible for observed instances of interference.

4.3.2 Magnetic antenna

For measurement of the magnetic component of the radiation, either an electrically-screened loop antenna of dimension such that the antenna can be completely enclosed by a square having sides of 60 cm in length, or an appropriate ferrite-rod antenna, may be used.

The unit of magnetic field strength is $\mu\text{A/m}$. In logarithmic units H is in $\text{dB}(\mu\text{A/m})$, or 20 times the log of the measured field strength level. The associated emission limit shall be expressed in the same units.

NOTE Direct measurements can be made of the strength of the magnetic component, in $\text{dB}(\mu\text{A/m})$ or $\mu\text{A/m}$ of a radiated field under all conditions, that is, both in the near field and in the far field. However, many field strength measuring receivers are calibrated in terms of the equivalent plane wave E -field strength in $\text{dB}(\mu\text{V/m})$, i.e. assuming that the ratio of the E and H components is $120 \pi \Omega$ or 377Ω . Calculations for H are as follows:

$$H = \frac{E}{377 \Omega} \quad (1)$$

where H is typically in $\mu\text{A/m}$ and E in $\mu\text{V/m}$.

For measurements in dB:

$$H = E - 51,5 \quad (2)$$

where H is in $\text{dB}(\mu\text{A/m})$ and E in $\text{dB}(\mu\text{V/m})$.

The impedance used in the above conversions, $Z = 377 \Omega$, with $20 \log Z = 51,5 \text{ dB}(\Omega)$, is a constant originating from the calibration of field strength measuring equipment indicating the magnetic field in $\mu\text{V/m}$ [or $\text{dB}(\mu\text{V/m})$].

4.3.3 Shielding of loop antenna

Inadequate shielding of a loop antenna can result in E -field response. The E -field discrimination of the antenna shall be evaluated by rotating the antenna in a uniform field, such that the plane of the loop remains parallel to the E -field vector. When the plane of the loop antenna is perpendicular to the magnetic flux and then the antenna is rotated so that its plane is parallel to the magnetic flux, the measured response shall decrease by at least 20 dB.

4.4 Frequency range 150 kHz to 30 MHz

4.4.1 Electric antenna

For the measurement of the electric component of the radiation, either a balanced or an unbalanced antenna may be used. If an unbalanced antenna is used, the measurement will refer only to the effect of the E -field on a monopole (rod) antenna. The type of antenna used shall be stated with the results of the measurements.

Information pertaining to calculating the performance characteristics of a monopole (rod) antenna and the characterization of its matching network is specified in Annex B. Annex B states that the antenna factor derived by the Equivalent Capacitance Substitution Method (ECSM) has greater uncertainties for monopole lengths greater than one-eighth of a wavelength.

The unit of electric field strength shall be $\mu\text{V/m}$. In logarithmic units, E shall be expressed in $\text{dB}(\mu\text{V/m})$, or 20 times the log of the measured field strength level. The associated emission limit shall be expressed in the same units.

4.4.2 Magnetic antenna

For the measurement of the magnetic component of the radiation, an electrically-screened loop antenna, as described in 4.3.2 shall be used.

NOTE Tuned electrically balanced loop antennas may be used to make measurements of magnetic field strengths as low as $-51,5 \text{ dB}(\mu\text{A/m})$ using QP detection in the frequency range 1,6 MHz to 30 MHz, i.e. lower than with untuned electrically-screened loop antennas where the noise level is approximately 25 dB higher.

4.4.3 Balance/cross-polar performance of antennas

If a balanced E -field antenna is used, it shall comply with the requirement of 4.5.4. If a balanced magnetic field antenna is used, it shall comply with the requirement of 4.3.3.

4.5 Frequency range 30 MHz to 1 000 MHz

4.5.1 General

In this frequency range, the measurements are of the E -field, so magnetic field antennas are not included. The antenna shall be a dipole-like antenna designed to measure the E -field, and the free-space antenna factor shall be used. The antenna types include:

- a) tuned dipole antennas, whose element pairs are either straight rods or conical in shape;
- b) dipole arrays such as the log-periodic dipole array (LPDA) antennas, comprising a series of staggered sets of straight rod elements;
- c) and hybrid antennas.

4.5.2 Low-uncertainty antenna for use if there is an alleged non-compliance to the E -field limit

For lower measurement uncertainty, the value of E -field measured by a typical biconical antenna or LPDA antenna is preferred, in particular over hybrid antennas. Typical biconical and LPDA antennas are defined in Annex A and only calibrated antennas shall be used.

NOTE 1 Improved uncertainties are achieved by using the biconical antenna over the frequency range 30 MHz to 250 MHz and the LPDA antenna over the range 250 MHz to 1 GHz. Alternatively, a change-over frequency of 200 MHz can be used, but uncertainties due to phase centre variations of the LPDA will be higher and should be included in the reported radiated emissions measurement uncertainty budget.

NOTE 2 The measurement uncertainty of radiated emissions from an EUT depends on many different influence factors such as the quality of the site, antenna factor uncertainty, antenna type, and the measurement receiver characteristics. The reason for defining low-uncertainty antennas is to limit other antenna influences on the measurement uncertainty, such as the effect of mutual coupling with a ground plane, the radiation pattern with respect to height scanning, and the variable phase centre position. Verification of effects of these influences is a comparison of the readings of the two antennas at the selected change-over frequency, which should give the same value of E -field within a margin of $\pm 1 \text{ dB}$.

4.5.3 Antenna characteristics

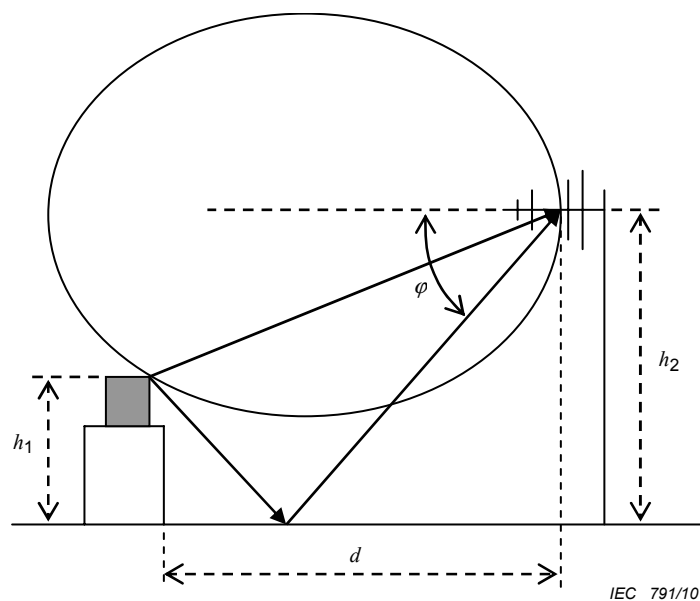
Given that at the frequencies in the range 300 MHz to 1 000 MHz, the sensitivity of the simple dipole antenna is low, a more complex antenna may be used. Such an antenna shall have characteristics as follows.

- a) The antenna shall be linearly polarized, which shall be evaluated by applying the cross-polarization test procedure of 4.5.5.
- b) Balanced dipole antennas, such as tuned-dipole and biconical antennas, shall have validated balun performance, which shall be evaluated by applying the balance test procedure of 4.5.4. This also applies to hybrid antennas below 200 MHz.

- c) A test site with a conducting ground plane is assumed. The amplitude of the received signal will be reduced if either or both the direct and ground reflected signals from the EUT to the antenna are not entering the main lobe of the radiation pattern of the antenna at its peak. The peak is usually in the boresight direction of the antenna. This reduction in amplitude is taken to be an error in the radiated emission; the ensuing uncertainty tolerance is based on the beamwidth, 2φ (see Figure 1).

Conditions for ensuring that this error is no larger than +1 dB are given below in item 1) for a 10 m site and item 2) for a 3 m site. Alternatively, a condition based on antenna gain is given in item 3) in order to bypass the laborious radiation pattern conditions.

Emission measurements are performed with the antenna horizontally and vertically polarized. If it is chosen to measure the radiation patterns in only one plane, the narrower patterns shall be used, as follows: the pattern of the antenna shall be verified in the horizontal plane while orienting it for horizontal polarization.



NOTE Quantities are defined in Equation (4).

Figure 1 – Schematic of radiation from EUT reaching an LPDA antenna directly and via ground reflections on a 3 m site, showing the half beamwidth, φ , at the reflected ray

- 1) For a 10 m OATS or SAC, the antenna response in the direction of the direct ray differs negligibly from the boresight amplitude when the antenna is aligned such that its boresight direction is parallel to the ground plane. The directivity component of the uncertainty in the emission measurement can be kept to less than +1 dB if the antenna response in the direction of the reflected ray is no more than 2 dB lower than the antenna boresight response. To ensure this condition, the total vertical beamwidth 2φ of the measurement antenna, within which the antenna gain is within 2 dB of its maximum, shall be such that:

$$\varphi > \tan^{-1} \frac{h_1 + h_2}{d} \quad (3)$$

- 2) For sites with less than 10 m separation, typically 3 m, the total vertical beamwidth 2φ of the measurement antenna, within which the antenna gain is within 1 dB of its maximum, shall be such that:

$$2\varphi > \left(\tan^{-1} \frac{h_1 + h_2}{d} \right) - \left(\tan^{-1} \frac{h_1 - h_2}{d} \right) \quad (4)$$

where

- h_1 is the height of the equipment under test;
- h_2 is the measurement antenna height;
- d is the horizontal distance between the phase centre of the measurement antenna and the device under test.

If antenna down-tilting that would reduce the associated uncertainties is not employed, the reduction in received signal shall be calculated from the radiation patterns and applied as corrections or as directivity uncertainties. Example uncertainty budgets are given in CISPR 16-4-2.

NOTE 1 Assuming an E -field radiation pattern normalised to unity on boresight (= peak of mainlobe) read the E -field at the angles of declination from the antenna for the direct, E_D , and reflected rays, E_R . The error, compared to an E -field of unity magnitude for each of the direct and reflected rays, is given in decibels by $20 \log [2/(E_D + E_R)]$.

NOTE 2 The reduction in signal strength caused by reduced directivity at angles off antenna boresight is a systematic error and therefore can be corrected. If a correction is applied, from knowledge of the radiation patterns at each frequency and polarization, the uncertainty in emitted signal strength can be reduced accordingly.

- 3) For broad beamwidth antenna types used for radiated emission testing, such as biconical, LPDA and hybrid antennas, the beamwidth is inversely related to antenna directivity. An alternative to the criterion based on beamwidths in items 1) and 2), is to specify the maximum gain of an antenna and to refer to generic uncertainty tolerances for the directivity component in the uncertainty budget for an emission test. The generic uncertainties, based on the narrowest beamwidths in the frequency range used for a given antenna, are given in CISPR 16-4-2. The maximum isotropic antenna gain for biconical antennas shall be 2 dB, and shall be 8 dB for log-periodic dipole array (LPDA) and hybrid antennas. For V-type LPDA antennas, whose H -plane beamwidth is equalised to the E -plane beamwidth, the maximum permissible isotropic gain shall be 9 dB.

NOTE 3 The directivity uncertainties given in CISPR 16-4-2 can be used for a 10 m separation, but revised uncertainties are needed for a 3 m separation.

- d) The return loss of the antenna with the antenna feeder connected shall not be less than 10 dB. A matching attenuator may be part of the feeder cable for antennas if needed to meet this requirement.
- e) A calibration factor shall be given making it possible to fulfil the requirements of 4.1.

4.5.4 Balance of antenna

4.5.4.1 General

In radiated emission measurements, common-mode (CM) currents may be present on the cable attached to the receiving antenna (the antenna cable). In turn, these CM currents create electromagnetic fields that may be picked up by the receiving antenna. Consequently, the radiated emission measuring results may be influenced.

The major contributions to the antenna cable CM currents stem from

- a) the E -field generated by the EUT, if that field has a component parallel to the antenna cable, and
- b) the conversion of the differential mode (DM) antenna signal (the desired signal) into a CM signal by the imperfection of the balun of the receiving antenna.

In general, log-periodic dipole array antennas do not exhibit significant DM/CM conversion and the following check applies to dipoles, biconical antennas and hybrid antennas.

4.5.4.2 Balun DM/CM conversion check

The following method describes the measurement of two voltages, U_1 and U_2 , in the frequency range for which the receiving antenna is to be used. The ratio of these voltages, both expressed in identical units, e.g. dB(μ V), is a measure for the DM/CM conversion.

- a) Set the receiving antenna under test vertically polarized with its centre at a height of 1,5 m above the ground plane. Extend a 1,5 m $\pm$ 0,1 m length of the antenna cable behind the rear active element of the receiving antenna at a height of 1,5 m above the ground plane and then allow it to drop vertically to the ground plane.
- b) Place a second (transmitting) antenna vertically polarized at a horizontal distance of 10 m from the centre of the antenna under test. The transmitting antenna shall be positioned such that the end of its largest active element is at a height of 0,10 m above the ground plane. If the range of the site used for emission testing is 3 m, do this check using a distance of 3 m (if the conversion check has already been made at 10 m distance and shows a difference between U_1 and U_2 of less than $\pm 0,5$ dB, it is not necessary to take a separate measurement at 3 m). The specification of the transmitting antenna shall include the frequency range of the antenna under test.
- c) Connect the transmitting antenna to a signal source, for example, a tracking generator, set the level of that generator in such a way that, over the frequency range of interest, the signal-to-ambient noise at the receiver is larger than 10 dB.
- d) Record the voltage U_1 at the receiver over the frequency range of interest.
- e) Invert the receiving antenna (rotate that antenna through 180°) without changing anything else in the set-up, in particular the receiving antenna cable, and without changing the setting of the signal source.
- f) Record the voltage U_2 at the receiver over the frequency range.
- g) The DM/CM conversion is sufficiently low if $20 \log (U_1/U_2) < 1$ dB.

NOTE 1 If the DM/CM conversion criterion is not met, ferrite rings around the antenna cable may reduce the DM/CM conversion. The addition of ferrites on the antenna cable may also be used to verify whether the contribution of item a) of 4.5.4.1 has a non-negligible effect. Repeat the test with four ferrites spaced approximately 20 cm apart. If the criterion is met by using these rings, they should be present in the actual emission measurement. Likewise, the interaction with the cable can be reduced by extending the cable several metres behind the antenna before dropping to ground.

NOTE 2 If the receiving antenna is used in a FAR, the DM/CM check may be performed in that room with the receiving antenna at its usual location and the transmitting antenna in the centre of the test volume of that room. The room should comply with the ± 4 dB criterion.

NOTE 3 The measuring site of which the ground plane forms a part, or the fully-anechoic room, should comply with their respective NSA (normalized site attenuation) requirements.

NOTE 4 The horizontal distance of 1,5 m over which the antenna cable runs horizontally behind the centre of the antenna should be kept as a minimum during actual vertically polarized radiated emissions measurements.

NOTE 5 It is not necessary to strictly define a test set-up because this effect is dominated by the interaction of the antenna and that part of the antenna cable that lies parallel to the antenna elements. There is a much smaller effect that is dependent on the uniformity of the field incident on the receiving antenna in normal EMC set-ups on an OATS or in a FAR.

NOTE 6 For baluns that have the receive cable connector mounted on the side (90° to the antenna boom), a right angle connector should be used to reduce the movement of the cable.

4.5.5 Cross-polar response of antenna

When an antenna is placed in a plane-polarized electromagnetic field, the terminal voltage when the antenna and field are cross-polarized shall be at least 20 dB below the terminal voltage when they are co-polarized.

It is intended that this test applies to log-periodic dipole array (LPDA) antennas for which the two halves of each dipole are in echelon. A test method to establish this requirement for LPDA antennas is presented. The majority of testing with such antennas is above 200 MHz, but the requirement applies over the entire frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz. This test is not intended for in-line dipole and biconical antennas because a cross-polar rejection greater than 20 dB is intrinsic to their symmetrical design. Such antennas and horn antennas shall have a cross-polar rejection greater than 20 dB and a type test by the manufacturer should confirm this.

In order to achieve quasi-free space conditions, a high-quality anechoic chamber or towers of sufficient height above ground on an outdoor range can be used. To minimize ground reflections, set the antennas vertically polarized. A plane wave shall be set up at the antenna under test. The separation between the centre of the antenna under test and the source antenna shall be greater than one wavelength.

NOTE A good-quality site is needed to set up a plane wave at the antenna under test. The cross-polar discrimination afforded by the plane wave can be proven by transmitting between a pair of horn antennas or open-ended waveguides and checking that the combination of site error and inherent cross-polar performance of one horn antenna yields a suppression of the horizontal component by more than 30 dB. If the site errors are very low and if the horn antennas have identical performance, the cross-polar performance of one horn is approximately 6 dB lower than the combined cross-polar coupling of the pair of horns.

An interfering signal 20 dB lower in level than the desired signal gives a maximum error on the desired signal of $\pm 0,9$ dB. The maximum error occurs when the cross-polar signal is in phase with the co-polar signal. If the cross-polar response of the LPDA is worse than 20 dB, the operator shall calculate the uncertainty and declare it with the result. For example, a cross-polar level of 14 dB implies a maximum uncertainty of +1,6 dB to –1,9 dB. Take the larger value and assume a U-shaped distribution when calculating the standard uncertainty.

To add a signal of 0 dB to another of –14 dB, first convert to relative voltages by dividing by 20 and taking the anti-log. Then add the smaller signal to the unity signal. Take the log and multiply by 20. The result is the positive decibel error. Repeat, but subtract the smaller signal from the unity signal to give the negative decibel error.

For the purpose of calculating the uncertainty of a radiated emission measurement, if the signal level measured in one polarization exceeds the signal measured in the orthogonal polarization by 6 dB or more, then an LPDA whose cross-polar discrimination is only 14 dB will have been deemed to have met the specification of 20 dB. If the difference between the vertically and horizontally polarized signal levels is less than 6 dB, additional uncertainty shall be calculated if the sum of this difference and the cross-polarization is less than 20 dB.

4.6 Frequency range 1 GHz to 18 GHz

Radiated emissions measurements above 1 GHz shall be made using calibrated, linearly polarized antennas. Examples are LPDA antennas, double-ridged guide horns and standard gain horns. The "beam" or main lobe of the pattern of any antenna used shall be large enough to encompass the EUT when located at the measuring distance, or provisions shall be made for "scanning" the EUT to locate the direction or source of its radiated emissions. The width of the main lobe is defined as the 3 dB beamwidth of the antenna, and information enabling the determination of this parameter should be given in the antenna documentation. For horn antennas, the following condition shall be satisfied:

$$d \geq \frac{D^2}{2\lambda} \quad (5)$$

where

- d is the measurement distance (m);
- D is the largest dimension of the aperture of the antenna (m); and
- λ is the free space wavelength at the frequency of measurement (m).

4.7 Special antenna arrangements – Loop antenna system

In the frequency range 9 kHz to 30 MHz, the interference capability of the magnetic field component of the radiation of a single EUT can be determined by using a special loop antenna system (LAS). In the LAS, this capability is measured in terms of the currents induced by the magnetic field in the loop antennas of the LAS. The LAS measures the current induced by the magnetic field component of the single EUT. The LAS allows indoor measurements.

The LAS consists of three circular, mutually perpendicular large-loop antennas (LLAs), having a diameter of 2 m, supported by a non-metallic base. A full description of the LAS is given in Annex C.

The EUT is positioned in the centre of the LAS. The maximum dimensions of the EUT are limited so that the distance between the EUT and an LLA is at least 0,20 m. Guidelines for the routing of signal cables are given in Note 2 of Clause C.3, and Figure C.6. Cables should be routed together and leave the loop volume in the same octant of the cell and no closer than 0,4 m to any of the LAS loops.

The three mutually perpendicular LLAs allow measurement of the interference capability of all polarizations of the radiated field with the prescribed accuracy, and without rotation of the EUT or changing the orientation of the LLAs.

Each of the three LLAs shall comply with the validation requirements given in Clause C.4.

NOTE Circular LLAs having a diameter different from the standardized diameter of 2 m may be used, provided their diameter $D \leq 4$ m and the distance in m between the EUT and a LLA is at least $0,10 \times D$. Correction factors for non-standardized diameters are given in Clause C.6.

5 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz

5.1 General

An environment is required that assures valid, repeatable measurement results of disturbance field strength from equipment. For equipment that can only be tested in its place of use, different provisions have to be utilized.

5.2 OATS

5.2.1 General

Disturbance field-strength measurements are normally performed at an open area test site. OATS are areas characteristic of cleared level terrain. Such test sites shall be void of buildings, electric lines, fences, trees, etc. and free from underground cables, pipelines, etc., except as required to supply and operate the EUT. Refer to Annex D for specific construction recommendations for OATS for electromagnetic field tests in the range of 30 MHz to 1 GHz.

The site validation procedure for OATS is given in 5.2.6 with further details in Annex E. Annex F contains the acceptability criterion.

5.2.2 Weather protection enclosure

Weather protection is desirable if the test site is used throughout the year. A weather protection structure could protect either the whole test site (including EUT and field strength measuring antenna) or the EUT only. The materials used shall be RF transparent in order to cause no undesirable reflections and attenuation of the emitted field from the EUT (see 5.3.1).

The structure shall be shaped to allow easy removal of snow, ice or water. For further details, see Annex D.

5.2.3 Obstruction-free area

For open area test sites, an obstruction-free area surrounding the EUT and field-strength measuring antenna is required. The obstruction-free area shall be free from significant scatterers of electromagnetic fields, and shall be large enough so that scatterers outside the obstruction-free area will have little effect on the fields measured by the field-strength measuring antenna. To determine the adequacy of this area, site validation tests shall be performed.

Since the magnitude of the field scattered from an object depends on many factors (size of the object, distance from the EUT, orientation with respect to the EUT, conductivity and permittivity of the object, frequency, etc.), it is impractical to specify a reasonable obstruction-free area, which is necessary and sufficient for all applications. The size and shape of the obstruction-free area are dependent upon the measurement distance and whether or not the EUT will be rotated. If the site is equipped with a turntable, the recommended obstruction-free area is an ellipse with the receiving antenna and EUT at the two foci and having a major axis equal to twice the measurement distance and a minor axis equal to the product of the measurement distance and the square root of 3 (see Figure 2).

For this ellipse, the path of the undesired ray reflected from any object on the perimeter is twice the length of the direct ray path between the foci. If a large EUT is installed on the turntable, the obstruction-free area shall be expanded so that the obstruction clearance distances exist from the perimeter of the EUT.

If the site is not equipped with a turntable, that is, the EUT is stationary, the recommended obstruction-free area is a circular area such that the radial distance from the boundary of the EUT to the boundary of the area is greater than or equal to the measurement distance multiplied by 1,5 (see Figure 3). In this case, the antenna is moved around the EUT at the separation distance.

The terrain within the obstruction-free area shall be flat. Small slopes needed for adequate drainage are acceptable. The flatness of the metallic ground plane, if used, is discussed in Clause D.2. Measuring apparatus and test personnel shall be situated outside the obstruction free area.

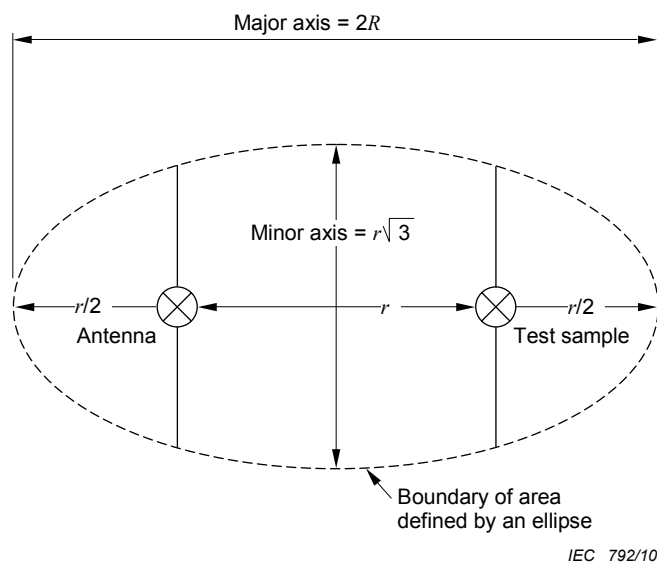


Figure 2 – Obstruction-free area of a test site with a turntable (see 5.2.3)

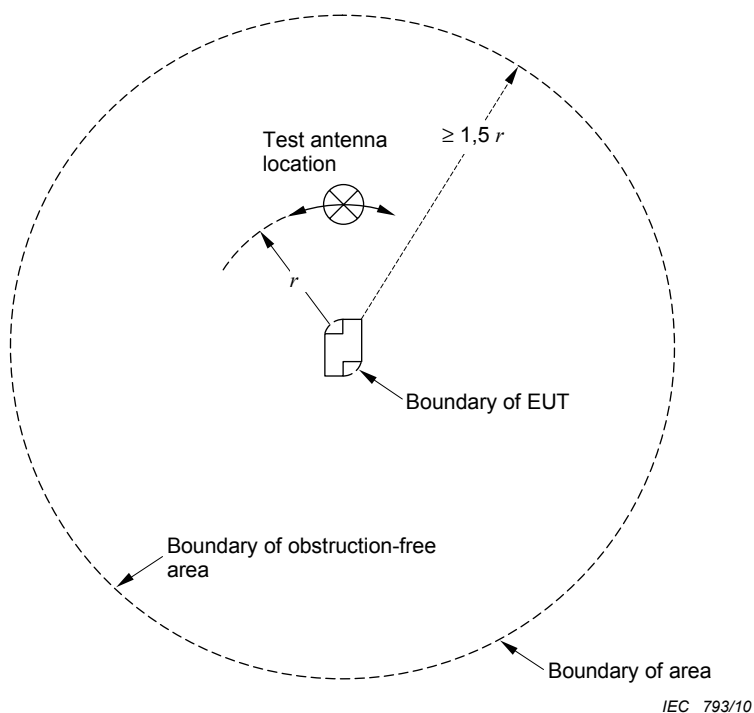


Figure 3 – Obstruction-free area with stationary EUT (see 5.2.3)

5.2.4 Ambient radio frequency environment of a test site

The ambient radio frequency levels at a test site shall be sufficiently low compared to the levels of measurements to be performed. The quality of the site in this respect may be assessed in four categories, listed below in their order of merit:

- the ambient emissions are 6 dB or more below the measurement levels;
- some ambient emissions are within 6 dB of the measurement levels;

- c) some ambient emissions are above the measurement levels, but are either aperiodic (i.e. sufficiently long in time between transmissions to allow a measurement to be made) or continuous, but only on limited identifiable frequencies;
- d) the ambient levels are above the measurement levels over a large portion of the measurement frequency range and occurring continuously.

The selection of a test site should ensure that the accuracy of the measurement is maintained given the environment and the degree of engineering skill available.

NOTE An ambient level of 20 dB or more below the measured emissions limit is considered optimum.

5.2.5 Ground plane

The ground plane may be composed of a wide range of material from earth to highly conductive, metallic material. The plane can be at earth level or elevated on a suitably sized platform or roof site. A metal ground plane is preferred, but for certain equipment and applications, it may not be recommended by certain product publications. Adequacy of the metal ground plane will be dependent on whether the test site meets the site validation requirements in 5.2.6. If no metallic material is used, caution is required to select a site that does not change its reflective characteristics with time, weather condition, or, due to buried metallic material such as pipes, conduits, and non-homogeneous soil. Such sites generally give different site attenuation characteristics compared to those with metallic surfaces.

5.2.6 OATS validation procedure

5.2.6.1 General

The validation procedure and the requirements for the NSA given here are used to qualify an OATS with a metallic ground plane. For other test sites, the validation procedure is of an informative nature, and will in general also identify possible site irregularities that should be investigated. Validation procedures applicable to absorber-lined rooms are given in 5.4.

The validation of an open area test site is performed with two antennas oriented horizontally and vertically with respect to the ground, as shown in Figures 4 and 5, respectively. Figure 5 shows the configuration for vertical polarization using tuned dipole antennas. For broadband antennas, the antenna heights shall be $h_1 = h_{2\min} = 1$ m.

The open area site attenuation is obtained from the ratio of the source voltage, V_i connected to a transmitting antenna and the received voltage, V_R as measured on the receiving antenna terminals. The voltage measurements are performed in a 50 Ω system. Suitable corrections for cable losses are required if V_R and V_i are not measured at the input and output of the transmit and receive antenna, respectively. This site attenuation ratio is then divided by the product of the antenna factors for the two antennas used. The resulting answer is the NSA and is expressed in dB. The site is considered suitable when the measured vertical and horizontal NSA values are within ± 4 dB of the values given in Tables E.1, E.2, and E.3 as appropriate. If the ± 4 dB criterion is exceeded, the test site shall be investigated per Clause E.4.

NOTE 1 The basis for the 4 dB site acceptability criterion is given in Annex F.

The deviation between a measured NSA value and the theoretical value shall not be used as a correction for a measured EUT field strength. This procedure shall be used only for validating a test site.

Table E.1 is used for broadband antennas such as biconical and log periodic arrays both horizontally and vertically aligned with respect to the ground plane. Table E.2 is for tuned half-wave dipoles aligned horizontally with respect to the ground plane. Table E.3 is for tuned half-wave dipoles vertically aligned with respect to the ground plane. Note that in Table E.3, there are restrictions in the scan height h_2 . This takes into account the fact that the lowest tip of the receive dipole is kept 25 cm or more from the ground plane.

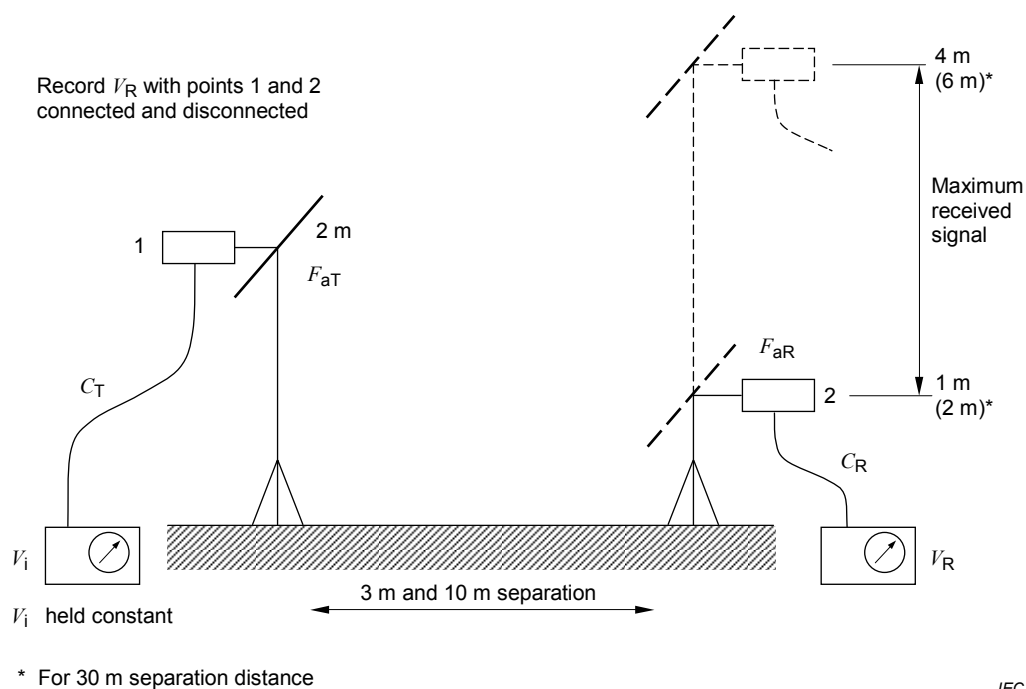
NOTE 2 The reason for the different Tables E.1, E.2 and E.3 is that different geometrical parameters are chosen for a broadband antenna and a tuned half-wave dipole, primarily because of practical restrictions needed for the latter.

NSA values for frequencies other than those shown in Tables E.1, E.2 and E.3 may be found using linear interpolation between the tabulated values.

The legend for each table is as follows:

- d horizontal separation distance between the projection of the transmit and receive antennas on the ground plane (m);
- h_1 height of the centre of the transmit antenna above the ground plane (m);
- h_2 range of heights of the centre of the receive antenna above the ground plane (m). The maximum received signal in this height scan range is used for NSA measurements;
- f_M frequency (MHz);
- A_N NSA [see Equation (6), below].

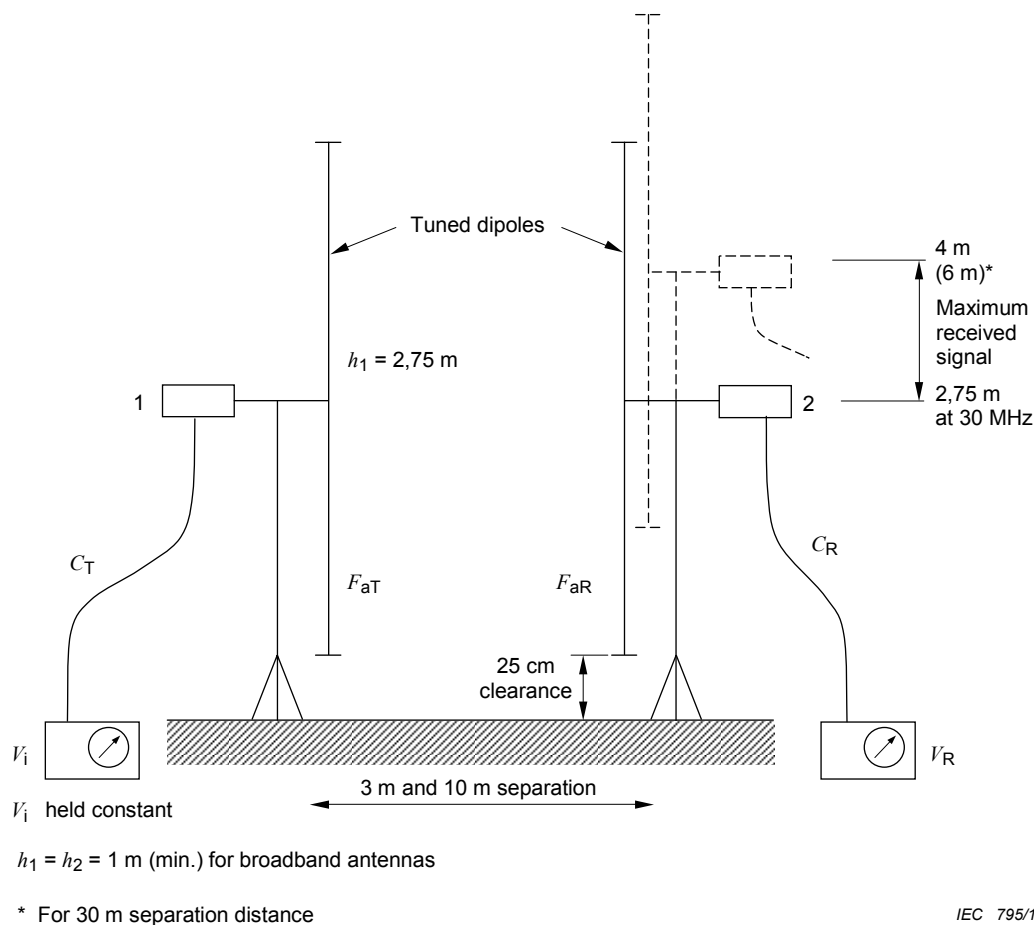
NOTE 3 The spacing d between log-periodic array antennas is measured from the projection on to the ground plane of the mid-point of the longitudinal axis of each antenna.



IEC 794/10

NOTE Symbols are defined in 5.2.6.1 and 5.2.6.2.

Figure 4 – Configuration of equipment for measuring site attenuation in horizontal polarization (see 5.2.6 and Annex E)



NOTE Symbols are defined in 5.2.6.1 and 5.2.6.2.

Figure 5 – Configuration of equipment for measuring site attenuation in vertical polarization using tuned dipoles (see 5.2.6 and Annex E)

It is recommended that horizontal NSA measurements be performed first. Since such measurements are less sensitive than that for vertical polarization in finding site anomalies, the measured NSA should readily be within ± 4 dB of that shown in Tables E.1, E.2 and E.3. If not, recheck measurement technique, instrumentation drift and antenna factor calibrations. If the ± 4 dB criterion is still exceeded, a significant site anomaly is present that should be readily apparent and corrective action taken before proceeding to the vertical polarization NSA measurement.

5.2.6.2 General NSA measurement

For each polarization measurement, the NSA procedure requires two different measurements of the received voltage, V_R . The first reading of V_R (V_{DIRECT}) is with the two coaxial cables disconnected from the two antennas and connected to each other via an adapter. The second reading of V_R (V_{SITE}) is taken with the coaxial cables reconnected to their respective antennas and the maximum signal measured when the receive antenna is scanned in height. (1 m to 4 m for 3 m and 10 m separation distances and either 1 m to 4 m or 2 m to 6 m for the 30 m separation.) For both of these measurements, the signal source voltage, V_i , is kept constant. These are used in the following Equation (6) for the measured NSA, $A_{N \text{ meas}}$; all terms are in dB.

$$A_{N\text{meas}} = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - F_{aT} - F_{aR} - \Delta F_{a\text{TOT}} \quad (6)$$

where

- F_{aT} is the transmit antenna factor;
- F_{aR} is the receive antenna factor;
- $\Delta F_{a\text{TOT}}$ is the mutual impedance correction factor.

Note that the first two terms represent the actual measurement of site attenuation, i.e. the classical view of site attenuation is equal to $V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}}$, which is constituted by the insertion loss of the propagation path with the inclusion of the properties of the two antennas used. Theoretical values for $\Delta F_{a\text{TOT}}$ are given in Table E.4. F_{aT} and F_{aR} shall be measured.

Note that:

$$V_{\text{DIRECT}} = V_i - C_T - C_R \quad (7)$$

where C_T and C_R are cable losses that do not need to be measured separately. The mutual impedance correction factor in Table E.4 applies only to the recommended site geometry of 3 m separation and with the use of half-wavelength tuned dipoles.

To accomplish these NSA measurements, two techniques can be used, depending on the instrumentation available and whether a broadband or tuned dipole is used. Both methods give essentially equal results if used correctly as outlined in Annex E. Briefly, each method is described as follows.

a) Discrete frequency method

For this method, specific frequencies given in Tables E.1, E.2 or E.3 are measured in turn. At each frequency, the receive antenna is scanned over the height range given in the appropriate table to maximize the received signal. These measured parameter values are inserted in Equation (6) to obtain the measured NSA. Annex E contains a suggested procedure approach to record the data, calculate the measured NSA, and then compare it with the theoretical NSA.

b) Swept frequency method

For this method, measurements using broadband antennas may be made using automatic measuring equipment having a peak hold (maximum hold), storage capability, and a tracking generator. In this method, both antenna height and frequency are scanned or swept over the required ranges. The frequency sweep speed shall be much greater than the antenna height scan rate. Otherwise the procedure is the same as in item a). A detailed procedure is given in Annex E.

5.2.6.3 Antenna factor determination

Accurate antenna factors are necessary in measuring NSA. In general, antenna factors provided with the antenna are inadequate unless they are specifically or individually measured. Linearly polarized antennas are required. A useful antenna calibration method is contained in Annex E. Manufacturer's antenna factors may account for losses due to the balun among other features. If a separate balun or any integrally associated cables are used, their effects shall be accounted for. The formula to use for tuned half-wave dipoles is also contained in Annex E.

5.2.6.4 Site attenuation deviations

If measurements of NSA deviate by more than ± 4 dB, several items should be re-checked first:

- a) measurement procedure;
- b) accuracy of antenna factors;
- c) drift in signal source or accuracy of receiver or spectrum analyzer input attenuator; and
- d) reading.

If no errors are found in items a), b), c) and d), then the site is at fault and detailed investigation of possible causes of site variability should be made. Annex F contains the errors that can occur with NSA measurements.

Note that since the vertical polarization is generally the more critical measurement, site anomalies should be investigated using this more sensitive measurement rather than the horizontal polarization results. Key items to investigate include:

- 1) ground plane size and construction inadequacy;
- 2) objects at the perimeter of the site that may be causing undesired scattering;
- 3) all-weather cover;
- 4) ground plane discontinuity at the turntable circumference when the turntable surface is conductive and at the same elevation as the ground plane;
- 5) thick dielectric ground plane covers;
- 6) openings in ground plane for stairways.

5.3 Test site suitability for other ground-plane test sites

5.3.1 General

There are many different test sites and facilities that have been constructed to make radiated emission measurements. Most are protected from the weather and the adverse effects of the radio frequency ambient. These include all weather-covered open area test sites and absorber-lined shielded rooms.

Whenever construction material encloses a test site, there is the possibility that the results of a single normalized site attenuation (NSA) measurement, as specified in 5.2.6, are not adequate to show such alternative site suitability.

To assess alternative test site suitability, the following procedure is recommended. It is based on making multiple NSA measurements throughout a volume occupied by the EUT. These NSA measurements shall all come within the error budget of ± 4 dB to be judged suitable as an equivalent to an open area test site.

The discussion in this subclause concerns alternative test sites that have a conducting ground plane.

5.3.2 Normalized site attenuation for alternative test sites

For an alternative test site, a single NSA measurement is insufficient to pick up possible reflections from the construction and/or RF-absorbing material comprising the walls and ceiling of the facility. For these sites, a "test volume" is defined as that volume traced out by the largest equipment or system to be tested as it is rotated about its centre location through 360° , such as by a turntable. In evaluating horizontal and vertical polarization, such as illustrated in Figure 6 and Figure 7, it may require a maximum of 20 separate site attenuation measurements, i.e. five positions in the horizontal plane (centre, left, right, front, and rear, measured with respect to the centre and a line drawn from the centre to the position of the measuring antenna), for two polarizations (horizontal and vertical), and for two heights (1 m and 2 m horizontal, 1 m and 1,5 m vertical).

These measurements are carried out with a broadband antenna and distances are measured with respect to the centre of the antenna. The transmit and receive antennas shall be aligned with the antenna elements parallel to each other and orthogonal to the measurement axis.

For vertical polarization, the off-centre positions of the transmit antenna are at the periphery of the test volume. Furthermore, the lower tip of the antenna shall be greater than 25 cm from the floor, which may require the centre of the antenna to be slightly higher than 1 m for the lowest height measurement.

For horizontal polarization measurements in the left and right positions if the distance between the construction and/or absorbing material on the side walls and EUT periphery is at least 1 m, the centre of the antenna is moved towards to central position so that the extreme tip of the antenna is either at the periphery or distant from the periphery by not more than 10 % of the test volume diameter. The front and rear positions are at the periphery of the test volume.

The number of required measurements can be reduced under the following circumstances.

- a) The vertical and horizontal polarization measurements in the rear position may be omitted if the closest point of the construction and/or absorbing material is at a distance greater than 1 m from the rear boundary of the test volume.

NOTE 1 Radiated emission sources located near dielectric interfaces have been shown to have variations in current distribution that can affect the radiated properties of the source at that location. When EUT can be located near these interfaces, additional site attenuation measurements are required.

- b) The total number of horizontal polarization measurements along the test volume diameter joining the left and right positions may be reduced to the minimum number necessary for the antenna footprints to cover 90 % of the diameter.
- c) The vertical polarization measurements at the 1,5 m height may be omitted if the top of the EUT, including any table mounting, is less than 1,5 m in height.
- d) If the test volume is no larger than 1 m in depth, by 1,5 m in width, by 1,5 m in height, including table if used, horizontal polarization measurements need only be made at the centre, front and rear positions but at the height of both 1 m and 2 m. If item a) above applies, the rear position may be omitted. This will require a minimum of eight measurements: four positions vertical polarization (left, centre, right, and front) for one height, and four positions horizontal polarization (centre and front) for two heights; see Figure 8 and Figure 9.

NSA measurements shall be performed with the transmit and receive antenna separation held constant according to Tables 1 and 2. Note that these tables have been modified to accommodate these NSA measurements by adding values for an additional transmit height and to limit the 30 m scan height to between 1 m and 4 m. The receive antenna shall be moved to maintain the appropriate separation along a line towards the turntable centre (see Figures 6, 7, 8, and 9). The alternative test site is considered suitable for performing radiated emission testing if all NSA measurements prescribed above meet the requirements of 5.3.3 and the ground plane requirements of 5.3.4 below.

NOTE 2 Studies are underway to determine if any further tests are required to show alternate test site suitability.

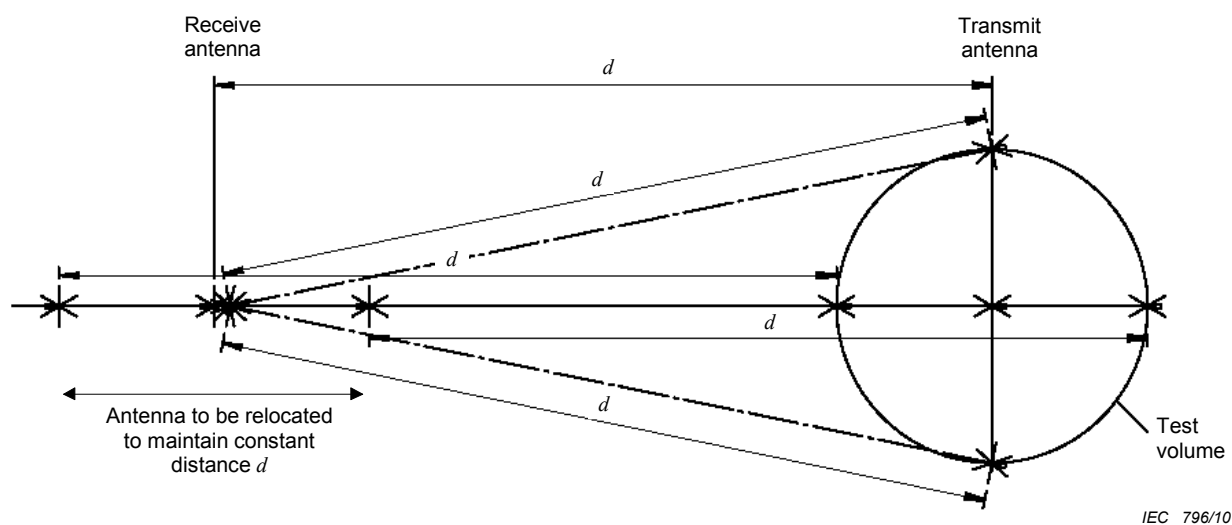


Figure 6 – Typical antenna positions for alternative test site – Vertical polarization NSA measurements

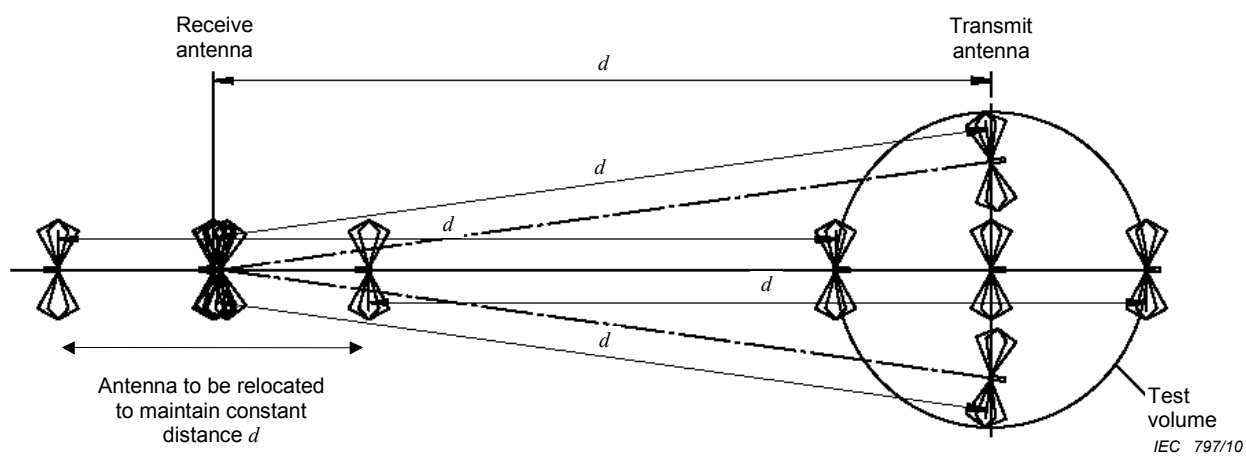
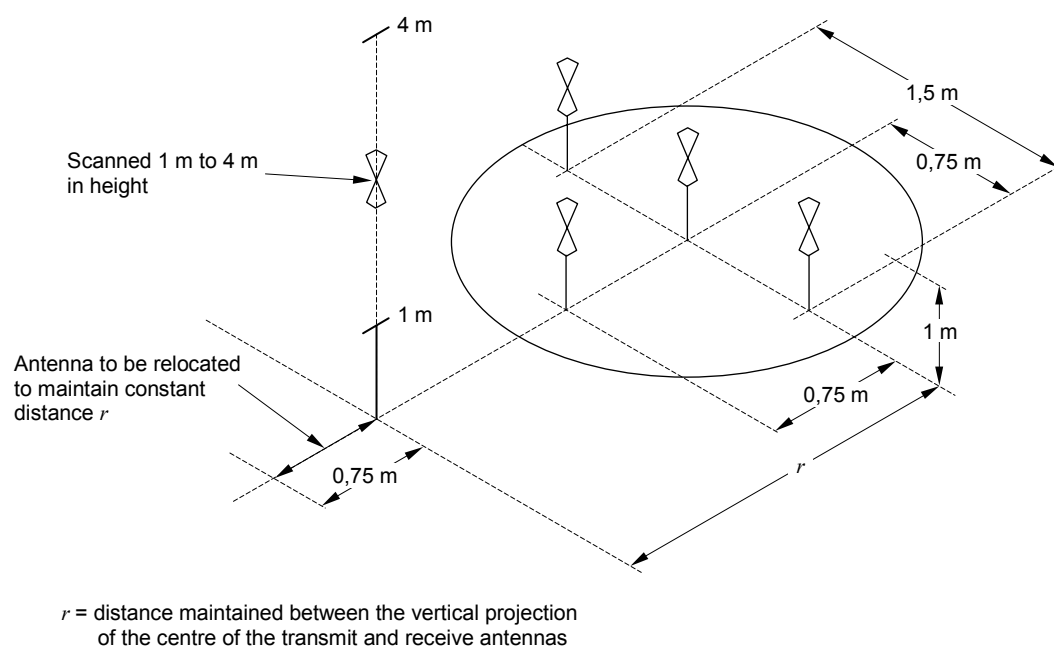


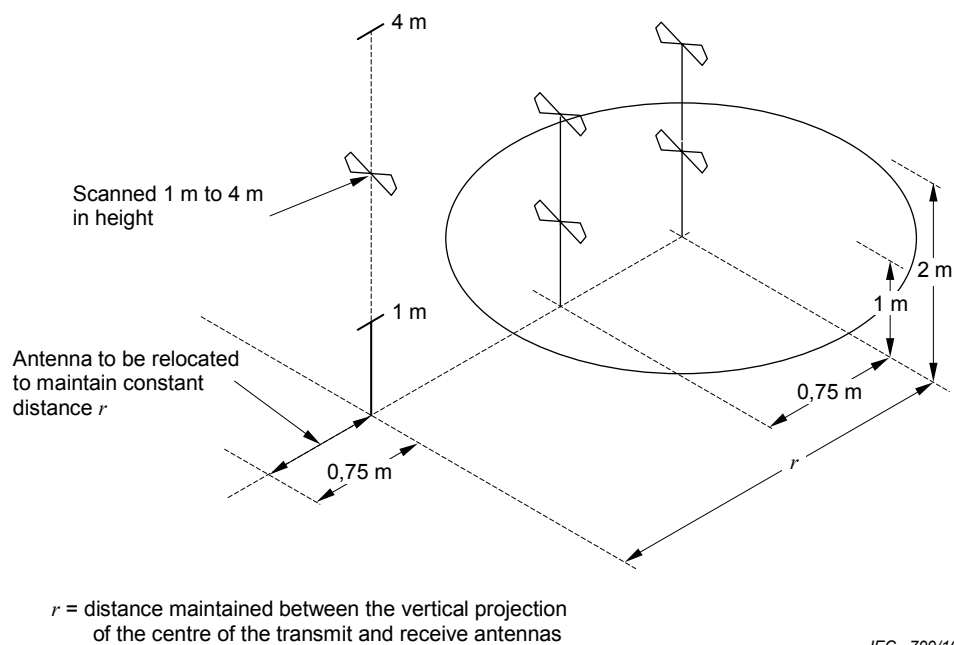
Figure 7 – Typical antenna positions for alternative test site – Horizontal polarization NSA measurements



IEC 798/10

NOTE EUT does not exceed a volume of 1 m depth, 1,5 m width, 1,5 m height, with the periphery greater than 1 m from the closest material that may cause undesirable reflections.

Figure 8 – Typical antenna positions for alternative test site – Vertical polarization NSA measurements for a smaller EUT



IEC 799/10

NOTE EUT does not exceed a volume of 1 m depth, 1,5 m width and 1,5 m height, with the periphery greater than 1 m from the closest material that may cause undesirable reflections.

Figure 9 – Typical antenna positions for alternative test site – Horizontal polarization NSA measurements for a smaller EUT

5.3.3 Site attenuation

A measurement site shall be considered acceptable for radiated electromagnetic field measurements if the measured horizontal and vertical NSA measurements are within ± 4 dB of the theoretical normalized site attenuation for an ideal site.

5.3.4 Conducting ground plane

A conducting ground plane is required at a radiated emission test site. The conducting ground plane shall extend at least 1 m beyond the periphery of the EUT and the largest measurement antenna, and cover the entire area between the EUT and the antenna. It shall be of metal with no holes or gaps having longitudinal dimensions larger than one-tenth of a wavelength at the highest frequency of measurement. A larger size conducting ground plane may be required if the NSA measurements do not meet the ± 4 dB criterion.

NOTE Ongoing studies may indicate the need for specifying minimum conductive ground plane size.

**Table 1 – Normalized site attenuation
(recommended geometries for tuned half-wave dipoles with horizontal polarization)**

Polarization	Horizontal	Horizontal	Horizontal
d	3 m	10 m	30 m
h_1	2 m	2 m	2 m
h_2	1 m to 4 m	1 m to 4 m	1 m to 4 m
f_M MHz	A_N dB		
30	11,0	24,1	41,7
35	8,8	21,6	39,1
40	7,0	19,4	36,8
45	5,5	17,5	34,7
50	4,2	15,9	32,9
60	2,2	13,1	29,8
70	0,6	10,9	27,2
80	-0,7	9,2	24,9
90	-1,8	7,8	23,0
100	-2,8	6,7	21,2
120	-4,4	5,0	18,2
140	-5,8	3,5	15,8
160	-6,7	2,3	13,8
180	-7,2	1,2	12,0
200	-8,4	0,3	10,6
250	-10,6	-1,7	7,8
300	-12,3	-3,3	6,1
400	-14,9	-5,8	3,5
500	-16,7	-7,6	1,6
600	-18,3	-9,3	0
700	-19,7	-10,6	-1,4
800	-20,8	-11,8	-2,5
900	-21,8	-12,9	-3,5
1 000	-22,7	-13,8	-4,5

Table 2 – Normalized site attenuation*
(recommended geometries for broadband antennas)

Polarization	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
d	3 m	10 m	30 m	3 m	3 m	10 m	30 m
h_1	1 m	1 m	1 m	1 m	1,5 m	1 m	1 m
h_2	1 m to 4 m	1 m to 4 m	1 m to 4 m	1 m to 4 m	1 m to 4 m	1 m to 4 m	1 m to 4 m
f_M MHz	A_N dB						
30	15,8	29,8	47,8	8,2	9,3	16,7	26,0
35	13,4	27,1	45,1	6,9	8,0	15,4	24,7
40	11,3	24,9	42,8	5,8	7,0	14,2	23,5
45	9,4	22,9	40,8	4,9	6,1	13,2	22,5
50	7,8	21,1	38,9	4,0	5,4	12,3	21,6
60	5,0	18,0	35,8	2,6	4,1	10,7	20
70	2,8	15,5	33,1	1,5	3,2	9,4	18,7
80	0,9	13,3	30,8	0,6	2,6	8,3	17,5
90	–0,7	11,4	28,8	–0,1	2,1	7,3	16,5
100	–2,0	9,7	27	–0,7	1,9	6,4	15,6
120	–4,2	7,0	23,9	–1,5	1,3	4,9	14,0
140	–6,0	4,8	21,2	–1,8	–1,5	3,7	12,7
160	–7,4	3,1	19	–1,7	–3,7	2,6	11,5
180	–8,6	1,7	17	–1,3	–5,3	1,8	10,5
200	–9,6	0,6	15,3	–3,6	–6,7	1,0	9,6
250	–11,7	–1,6	11,6	–7,7	–9,1	–0,5	7,7
300	–12,8	–3,3	8,8	–10,5	–10,9	–1,5	6,2
400	–14,8	–5,9	4,6	–14,0	–12,6	–4,1	3,9
500	–17,3	–7,9	1,8	–16,4	–15,1	–6,7	2,1
600	–19,1	–9,5	0	–16,3	–16,9	–8,7	0,8
700	–20,6	–10,8	–1,3	–18,4	–18,4	–10,2	–0,3
800	–21,3	–12,0	–2,5	–20,0	–19,3	–11,5	–1,1
900	–22,5	–12,8	–3,5	–21,3	–20,4	–12,6	–1,7
1 000	–23,5	–13,8	–4,4	–22,4	–21,4	–13,6	–3,5
* These data apply to antennas that have at least 25 cm of ground plane clearance when the centre of the antennas is 1 m above the ground plane in vertical polarization.							

5.4 Test site suitability without ground plane

5.4.1 Measurement considerations for free space test sites, as realized by fully-absorber-lined shielded enclosures

A fully-absorber-lined shielded enclosure, also known as a fully-anechoic chamber (FAC), or a fully-anechoic room (FAR), may be used for radiated emission measurements. When the FAR method is used, appropriate radiated emission limits shall be defined in relevant standards (generic, product or product family standards). Compliance with the radio services protection requirements (limits) shall be established for FARs in a similar way as for tests on an OATS.

A FAR is intended to simulate a free space environment such that only the direct ray from the transmitting antenna or EUT reaches the receiving antenna. All indirect and reflected waves shall be minimized with the use of appropriate absorbing material on all walls, the ceiling and the floor of the FAR.

5.4.2 Site performance

5.4.2.1 General

Site performance may be validated by two methods that are described below, i.e. the reference site method and the NSA method.

5.4.2.2 Theoretical normalized site attenuation

The following describes the NSA theory for infinitely small antennas.

Site attenuation (SA, A_S as a quantity in dB) is the transmission loss measured between the connectors of two antennas on a particular site. For a free space environment, A_S (in dB) can be approximated by Equation (8) [5]¹⁾:

$$A_S = 20 \log \left(\frac{5Z_0}{2\pi} \times \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) - 20 \log(f_M) + F_{aR} + F_{aT} \quad (8)$$

where

- F_{aR}, F_{aT} are the antenna factors of the receive and transmit antennas (dB/m);
- D is the distance between the phase centres of both antennas (m);
- Z_0 is the reference impedance (i.e. 50 Ω);
- β is defined as $2\pi / \lambda$; and
- f_M is the frequency (MHz).

The theoretical normalized site attenuation ($A_{N \text{ theo}}$) in dB is defined as site attenuation with respective antenna factors subtracted, thus:

$$A_{N \text{ theo}} = 20 \log \left(\frac{5Z_0}{2\pi} \times \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) - 20 \log(f_M) \quad (9)$$

Below 60 MHz at a 5 m distance or 110 MHz at a 3 m distance, it is necessary to apply near field correction factors for each of the required test positions of Table 3 for comparison with the theoretical NSA of Figure 10 and Equation (8). Near field correction factors are specific to the antennas, test distance, and test volume used, and therefore are obtained by using a numerical modelling code such as NEC. Alternatively, the reference method of 5.4.2.3.2 provides cancellation of near field terms if the same antennas and frequencies are used for both the site reference measurement and FAR validation.

For measurement distances of 10 m and 30 m, the near-field terms in Equation (9) may be omitted, and the equation simplifies as follows:

¹⁾ Figures in square brackets refer to the Bibliography.

$$A_{N\text{theo}} = 20\log\left(\frac{5Z_0d}{2\pi}\right) - 20\log(f_M) \quad (10)$$

If simplified Equation (10) is used instead of Equation (8), the error introduced is less than 0,1 dB at frequencies above 60 MHz for 5 m distance and above 110 MHz for 3 m distance. The error will be greater than 0,1 dB below these frequencies due to near-field effects. For a 3 m distance, the maximum error is 1 dB at 30 MHz. To reduce this error, Equation (8) should be used.

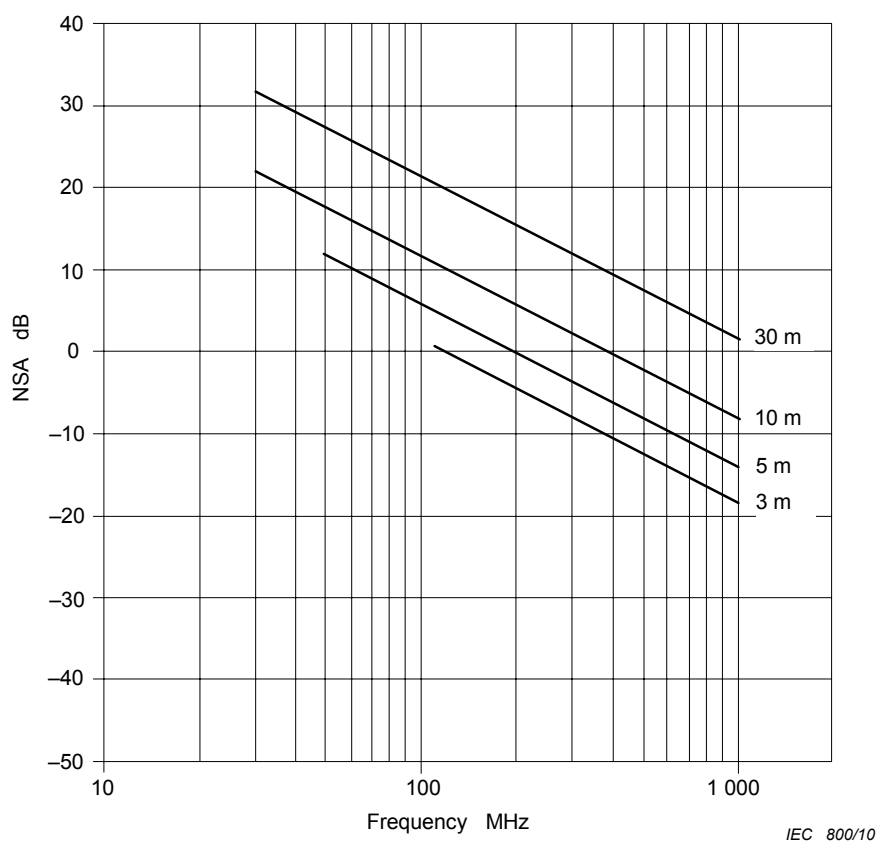


Figure 10 – Graph of theoretical free-space NSA as a function of the frequency for different measurement distances (see Equation (10))

NOTE Frequencies below 110 MHz for 3 m measurement and below 60 MHz for 5 m measurement distances include near field effects. These are calculated for each individual test site.

5.4.2.3 Site validation procedure

5.4.2.3.1 General

The NSA shall satisfy the requirement of 5.4.3 over a cylindrical test volume generated by the rotation of the EUT on the turntable. In this context, “the EUT” includes all components of a multi-unit EUT and the interconnecting cables. Table 3 defines the maximum height and diameter ($h_{\max} = d_{\max}$) of the test volume as a function of test distance. This ratio between diameter and test distance ensures an acceptable uncertainty in EUT emissions testing.

Table 3 – Maximum dimensions of test volume versus test distance

Maximum diameter $d_{\max}$ and height $h_{\max}$ of the test volume m	Test distance d_{nominal} m
1,5	3,0
2,5	5,0
5,0	10,0

A single position SA measurement may not be sufficient to pick up possible reflections from the room construction and/or absorbing material lining the walls, floor, ceiling and turntable of the FAR.

The fully-anechoic room SA measurements and validation shall therefore be performed at fifteen measurement positions for both horizontal and vertical antenna polarizations of the transmit antenna in the test volume (see Figure 11):

- at three heights of the test volume: bottom, middle and top;
- at five positions in all three horizontal planes: centre, left, right, front and rear positions in each horizontal plane. The rear position may be omitted if the distance between rear position and absorbers is more than 0,5 m. During EUT testing, the rear position on the turntable is also turned to the front, and the contribution of the back reflection will then not affect the maximum signal.

For SA measurements two broadband antennas shall be used: one transmit antenna with its reference point at the measurement positions of the test volume and one receive antenna outside this test volume at a prescribed orientation and position. The transmit antenna shall have an approximately omnidirectional H -plane pattern.

NOTE 1 The maximum dimension should not exceed 40 cm for a 3 m test distance; at larger distances, the size of the antenna can be scaled accordingly.

Typical receive antennas are hybrid (biconical/LPDA combination) antennas for 30 MHz to 1 000 MHz, or separate [biconical antennas (for 30 MHz to 200 MHz) and LPDA antennas (for 200 MHz to 1 000 MHz)].

NOTE 2 Use of a hybrid (biconical/LPDA combination) antenna is not recommended for either emission testing or chamber validation at 3 m distance, due to the large physical size of such antennas.

The same antennas, cables, ferrites, attenuators, amplifier, signal generator and receiver used to measure the SA of the FAR, shall be used to measure the reference SA on the quasi-free space test site (5.4.2.3.3). The receive antenna used during the room validation shall be of the same type as used during radiated emission testing of the EUT.

For test volume validation, both in horizontal and vertical polarization, and for all transmitting antenna positions in the test volume, the position in height of the receiving antenna in the FAR shall be set and remain at the fixed middle level of the test volume, as shown in Figures 11 and 12. Tilting the antennas shall be necessary to align the bore sight axis of both antennas in one measurement axis. The distance between the antenna reference point (defined in antenna calibration) and the front position of the test volume is d_{nominal} . When the transmit antenna is moved to other positions in the test volume, the receive antenna shall be translated along the measurement axis to maintain d_{nominal} . The measurement axis is the line between the transmit and receive antenna, along which d_{nominal} is defined. For all positions and polarizations, the receiving and the transmitting antenna shall face one another with the elements of both antennas parallel (tilting, see Figure 12). Any antenna masts and the supporting floors shall be in place during the validation procedure.

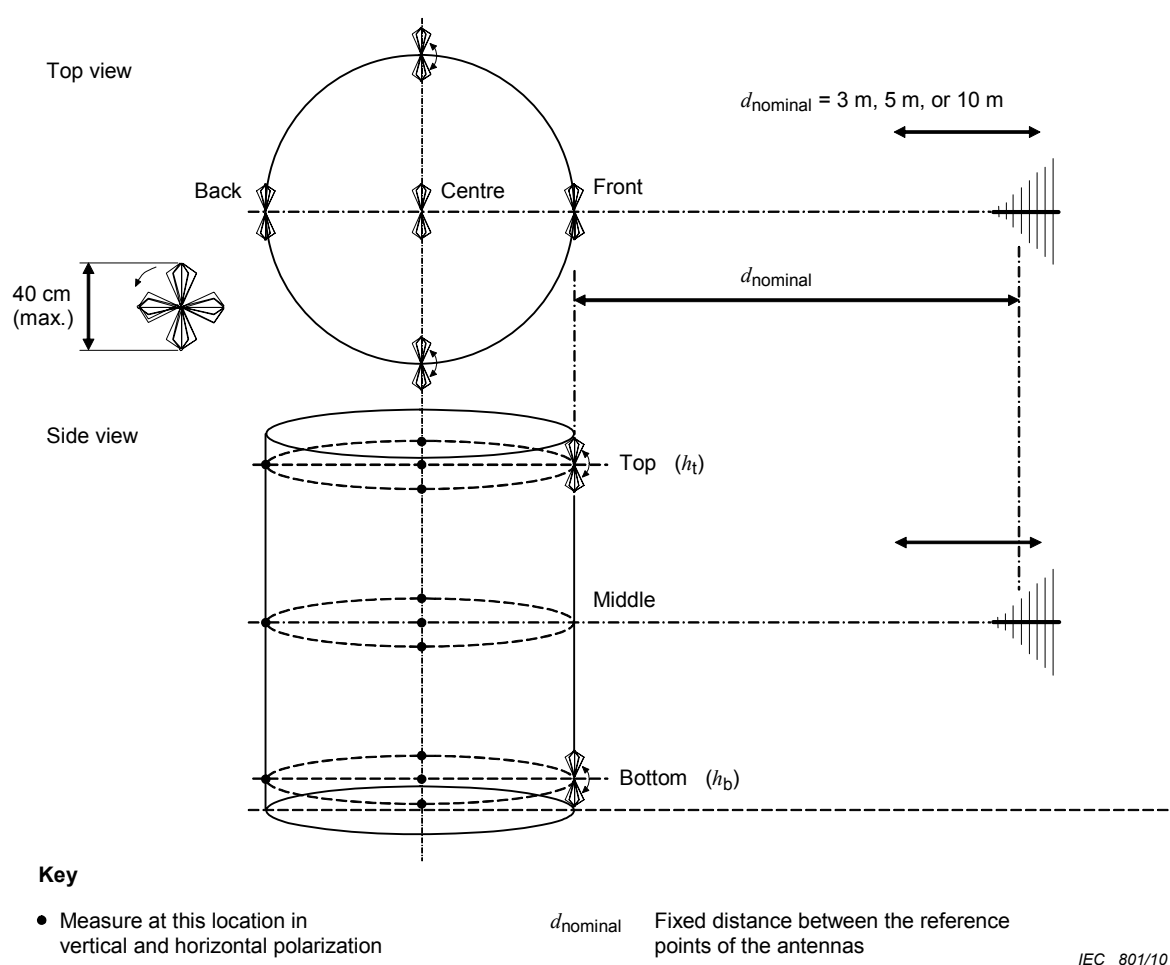


Figure 11 – Measurement positions for the site validation procedure

For all positions of the transmitting antenna in the test volume, in both horizontal and vertical polarizations, the transmitting and receiving antennas shall be aligned on the measurement axis.

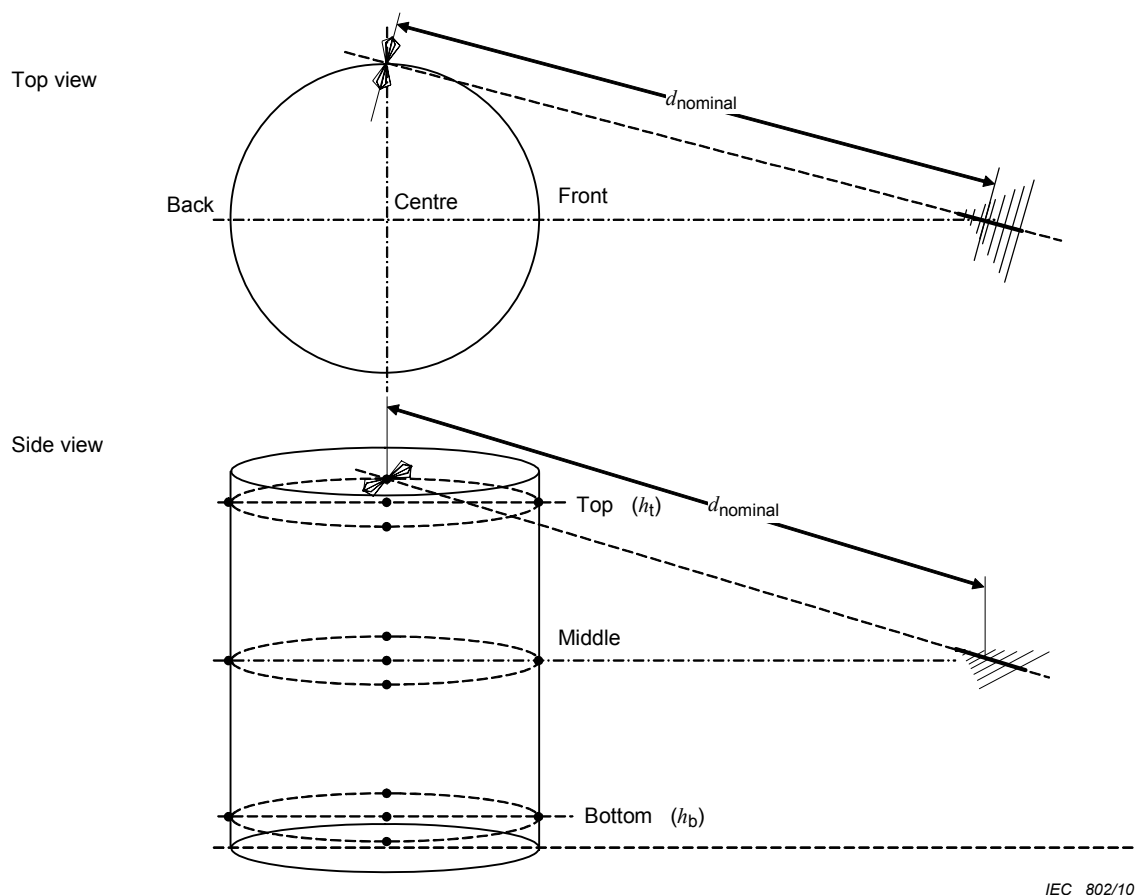
Tilting the antennas is necessary to meet this requirement at certain positions (see Figure 12).

d_{nominal} { is the test distance associated with the limit;
is the fixed antenna distance in the validation procedure;
is the antenna separation in the antenna calibration procedure.

The transmit antenna height position in the test volume shall be determined as follows:

- “Middle” where possible along a virtual axis positioned at mid-height and mid-width of the FAR;
- “Top (h_t)” and “Bottom (h_b)” by half of h_{max} (see Table 3) minus half of the transmit antenna dimension (e.g. 20 cm for small biconical antenna).

These adjusted positions shall be used for both vertical and horizontal polarizations. The distance between the top and bottom planes and the ceiling and floor absorbers respectively is given by the absorber performance as determined by the volumetric NSA test, but at least 0,5 m, to avoid EUT to absorber coupling.



NOTE Antenna polarization horizontal, position top right.

Figure 12 – Example of one measurement position and antenna tilt for the site validation procedure

The maximum step size for the discrete-frequency measurement shall be as listed in Table 4:

Table 4 – Frequency ranges and step sizes

Frequency range MHz	Maximum frequency step MHz
30 to 100	1
100 to 500	5
500 to 1 000	10

Two methods are permissible for site validation:

- the reference site method, which is required for test distances less than 5 m;
- the NSA method, which is preferred for test distances greater than or equal to 5 m.

The SA measurement methods are intended to provide 0 dB deviation when performed on an ideal site. Any methods may be implemented to decrease measurement uncertainty, as long as these do not contradict the defined set-up and procedures or hide any site deficiencies, e.g. smoothed resonances.

Site validation measurement uncertainty can be decreased by the following measures.

- For a vertically-polarized antenna, shielded cables are to be extended by at least 2 m behind each antenna before dropping the cable to the ground. If possible, cables shall extend straight back to the bulkhead connectors in the wall of the room. Another possibility is the use of clip-on ferrites on the cables. Another alternative for reducing the influence of cables is through the use of optical links.
- Attenuators at the antenna connectors (e.g. 6 dB or 10 dB) will reduce the influence of any large impedance mismatch at the antennas.
- Antennas with good balance of the balun shall be used (the receiver reading changes less than $\pm 0,5$ dB when the antenna is rotated through 180° with respect to its bore sight axis. Antenna balance verification methods are described in 4.5.3).
- Separate biconical and LPDA antennas for chamber evaluation may be used (antenna type is changed at 200 MHz), if these will be used for EUT testing. A hybrid (biconical/LPDA combination) antenna is a combination of these two types and may be used as well if the mechanical dimensions are sufficiently small for the measurement distance.

The FAR site validation procedure shall be performed at regular intervals, to detect long-term changes in room characteristics, and when changes that might influence the electromagnetic wave transmission characteristics in the FAR occur.

5.4.2.3.2 The reference site method

SA measurements with the antenna pair (transmit and receive antenna) on a quasi-free space test site are required as a reference. The procedure for determining this reference site attenuation ($A_{S \text{ ref}}$) is described in 5.4.2.3.3. This method accounts for mutual coupling of the antennas and near field effects, which can have a significant influence at 3 m test distances. The reference site attenuation $A_{S \text{ ref}}(d)$ is performed at the nominal distance, d_{nominal} between the transmit and receive antennas.

The site validation procedure for each test volume position is performed in three steps.

- 1) M_0 is the reference level measured by the receiver in dB(μ V) with the cables connected together, normally done once before a series of volumetric tests.
- 2) M_1 is the level measured by the receiver in dB(μ V) with antennas installed.

The site attenuation of the validated site $A_{S \text{ val}}$ can be calculated by

$$A_{S \text{ val}} = M_0 - M_1 \quad \text{in dB} \quad (11)$$

- 3) The deviation of the measured site attenuation (ΔA_S) from reference site attenuation $A_{S \text{ ref}}(d)$ is calculated using Equation (12).

$$\Delta A_S = A_{S \text{ ref}}(d) - A_{S \text{ val}} \quad \text{in dB} \quad (12)$$

5.4.2.3.3 Determining the site reference

For accurate site validations at distances less than 5 m, it is recommended that dedicated pairs of antennas be used to determine the site reference (transmit and receive antenna). A quasi-free space test site is required. It consists of 2 non-metallic antenna masts (wood or plastic with $\epsilon_r \leq 2,5$, low loss, diameter as small as possible retaining mechanical strength), which allow the placement of antennas at a certain height above the ground level (Figure 13). One possible method of realization of the ± 1 dB performance of the reference site is to choose the height (h) of the antennas as follows:

$$h \geq d \times \frac{8}{3} \quad (13)$$

where d is the antenna separation.

A height of $h = d \times 8/3$ is recommended to suppress the influence of the ground, or substantial absorbers which work down to 30 MHz, need to be placed on the ground.

NOTE At 3 m separation at 30 MHz there is a significant near field term ($1/d^2$) that alone contributes an error of 0,8 dB for a height of 5/3. This was verified by the national measurement institutes of both the UK and Austria. For a site reference with an uncertainty of less than $\pm 0,5$ dB, a height of 8/3 is recommended if no absorber is placed at the ground.

The distance shall be equal to the actual distance d_{nominal} between the antennas used in the FAR. The antennas are polarized vertically (horizontal polarization shall not be used because of stronger interference with the ground-reflected signal). It also provides a good approximation of free-space. The clearance from buildings, trees, etc. shall be greater than $d \times 8/3$ because there may be an influence for vertically polarized antennas.

Care has to be taken that the antenna feed cables do not affect the test result. This is best avoided by a cable arrangement as shown in Figure 13, or using RF-optical links.

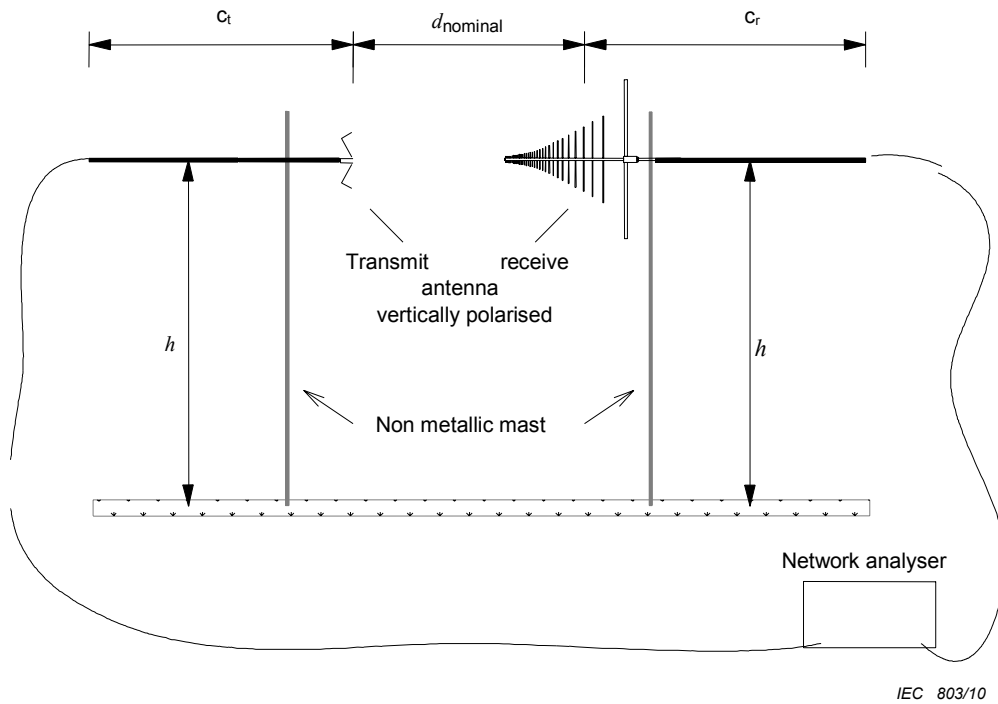
The quality of the reference set-up directly influences the FAR evaluation result.

The reference site attenuation ($A_{S \text{ ref}}$) is determined in three steps, as follows.

- 1) $M_{0 \text{ RS}}$ is the reference level measured by the receiver in dB(μ V) with the cables connected together.
- 2) $M_{1 \text{ RS}}(d)$ is the level measured by the receiver in dB(μ V) with the antennas installed at the required distance d_{nominal} .
- 3) The $A_{S \text{ ref}}(d)$ is calculated according to Equation (14)

$$A_{S \text{ ref}}(d) = M_{0 \text{ RS}} - M_{1 \text{ RS}}(d) \text{ in dB} \quad (14)$$

For 3 m site validation, a height of at least 4 m above ground shall be used, which is a typical capability of remotely controllable antenna masts that are used for emission measurements. In this case, electromagnetic absorbers shall be placed on the ground between the antennas, with the absorber patch extending for a minimum area beyond the antennas in all directions and it shall be proven that quasi-free space condition, as defined in 5.4.1, is fulfilled. For site validation with $d > 3$ m, the equation $h > d \times 8/3$ is used, or an alternative set-up that has been demonstrated to fulfil the ± 1 dB reference site attenuation.

**Key**

d_{nominal} validation distance

h height of the antennas above a ground plane or above ground level

C_t, C_r coaxial feed cables for transmit and receive antenna oriented horizontally behind the antenna for a distance as close to 2 m as physically possible. In a FAR, route the cables horizontally as far as possible, preferably straight through a hole in the chamber wall, or use optical fibre connected to an RF-optical link on the output of the antenna.

NOTE Reference site attenuation is obtained separately for all geometries of Figure 13.

Figure 13 – Typical free-space reference site attenuation measurement set-up

5.4.2.3.4 The NSA method

The free space antenna factors of the transmit and receive antennas are required for this procedure. The site validation for each measurement position is performed in four steps as follows.

- 1) M_0 is the reference level measured by the receiver with the cables connected together.
- 2) M_1 is the level measured by the receiver with the antennas installed.
- 3) The measured NSA ($A_{N \text{ meas}}$) is calculated in dB according to Equation (15)

$$A_{N \text{ meas}} = M_0 - M_1 - F_{aT} - F_{aR} \text{ in dB} \quad (15)$$

where F_{aT} and F_{aR} are free space antenna factors in dB/m.

- 4) The deviation ΔA_N is calculated in dB according to Equation (16)

$$\Delta A_N = A_{N \text{ meas}} - A_{N \text{ theo}} \quad (16)$$

where $A_{N \text{ theo}}$ is calculated using Equation (10), and ΔA_N is compared with the applicable NSA criterion, e.g. ± 4 dB, as specified in 5.4.3.

NOTE The distance d between the reference points of the transmit and receive antennas (defined by antenna calibration) is used as d_{nominal} . The effective distance between the antennas varies with frequency due to their phase centre positions. The transmission loss is compensated by the ratio of the effective distance to d_{nominal} .

5.4.3 Site validation criteria

A measurement site shall comply with the following requirements:

- deviations of the SA or the NSA [Equation (12) or Equation (16)] shall be less than ± 4 dB for both horizontal and vertical polarization and for each measurement position and measurement frequency;
- the uncertainty budget of the site evaluation according to CISPR 16-4-2 recommendations shall be reported and shall have the same components as required for field strength measurements on alternative test sites with ground plane.

5.5 Evaluation of set-up table and antenna tower

5.5.1 General

A set-up table as specified in Clause D.5 typically positions the EUT for field strength measurements. The shape, construction and material permittivity of the set-up table can influence the field strength measurement results (see [2], [6], [7], [10]). The following subclause (i.e. 5.5.2) describes a procedure to determine the influence of the set-up table for the 30 MHz to 18 GHz frequency range and to estimate its related uncertainty contribution to field strength measurements. An evaluation shall be performed on any set-up table with a height of more than 0,15 m.

NOTE Only horizontal polarization of a transmit antenna above the set-up table is used in the evaluation. Horizontal polarization, as opposed to vertical, accounts for the worst-case effects from the table.

The antenna tower does not require additional evaluation because any perturbation effects will be included in the NSA measurement (see 5.2.6) and in the S_{VSWR} measurement (see 8.3).

5.5.2 Evaluation procedure for set-up table influences

To evaluate the influence of the set-up table, two transmission measurements are performed: one with the set-up table present, the second with the set-up table absent. During the two measurements, a transmit antenna is maintained in a specific arrangement. The difference between the measurement results with and without the set-up table gives an estimate of the influence caused by the set-up table. The measurement procedure is as follows.

The set-up table shall be placed in the typical position on the test site with the largest dimension (i.e. the diagonal for a set-up table with a rectangular top, or the radius for a table with a circular top) oriented in the direction of the receive antenna (see Figure 14).

For frequencies up to 1 GHz, a small biconical antenna with an overall length of less than 0,40 m shall be used. For frequencies above 1 GHz, an antenna in accordance with 8.3.3.1 (for example a broadband dipole) shall be used.

Refer to Figure 14 and Figure 15 for placement of the transmit antenna. The antenna shall be placed above the set-up table in a horizontal polarization with a distance of 0,1 m between the table surface and the antenna reference point (balun). The antenna shall be positioned with the reference point midway between the centre and the edge of the set-up table top in the direction of the receive antenna. A signal generator shall feed the antenna. The transmit and receive antennas shall be aligned with the antenna elements parallel to each other and orthogonal to the measurement axis. During measurement, frequency steps shall be less than or equal to 0,5 % of the highest frequency used. The receive antenna voltage shall be at least 20 dB above the noise level of the measurement equipment. The influence of cabling can be minimized by using long cables or by using ferrite tubes. Routing the cables horizontally to the rear a minimum of 2 m is typically sufficient. Either way, the influence shall be defined as negligible if the receive voltage does not change by more than 0,3 dB when the cable routing is changed by more than 0,5 m from its original position.

EXAMPLE A cable with ferrite tubes is routed horizontally for a distance of 1,6 m. To check the cable influence, the cable is re-routed to drop vertically from a point 2,1 m from the connection to the antenna. Then the field strength is re-measured to determine if the influence is no more than 0,3 dB.

The aim is that there are no changes in the measurement set-up apart from the table being present or absent. The transmit antenna, and its cable connecting to the signal generator, shall be supported in such a way that they retain identical positions in space with and without the table. A mast, tripod or tower as used during NSA measurements or S_{VSWR} shall be used to support the transmit antenna and cable.

Antenna heights and distances shall be as follows:

- For all frequencies, the distance between the receive and transmit antennas shall be as required for the radiated disturbance measurement.
- At or below 1 GHz, measurements shall be made from at least 200 MHz to 1 GHz. In an OATS or SAC, the receive antenna height shall be scanned as required in the radiated disturbance measurement (typically between 1 m and 4 m). In a FAR, the receive antenna shall be fixed at the height required for the radiated disturbance measurement.

NOTE Below 200 MHz the influence of the set-up table is negligible when applying this verification procedure.

- Above 1 GHz, measurements shall be performed over the same frequency range (e.g. 1 GHz to 18 GHz), and the antenna height shall be set (e.g. 1 m to 4 m), as required for the radiated disturbance measurement.

The magnitude of the difference between the two measurement results at each frequency step, written as $\Delta(f)$ and expressed in dB, shall be calculated using Equation (17).

$$\Delta(f) = |V_{R,with}(f) - V_{R,without}(f)| \quad (17)$$

where

$V_{R,with}(f)$ is the maximum voltage at the receive antenna at a specific frequency, expressed in dB(μ V), measured in the presence of the set-up table;

$V_{R,without}(f)$ is the maximum voltage at the receive antenna at a specific frequency, expressed in dB(μ V), measured in the absence of the set-up table.

The maximum magnitude of the difference between the two measurement results recorded across the frequency range, written as Δ_{max} and expressed in dB, shall be used as the estimated maximum deviation. This shall be calculated in accordance with Equation (18).

$$\Delta_{max} = \max |V_{R,with}(f) - V_{R,without}(f)| \quad (18)$$

The standard uncertainty u_{table} caused by the set-up table is estimated by assuming a rectangular distribution for the measured maximum difference Δ_{max} . So u_{table} (in dB) can be calculated using Equation (19).

$$u_{table} = \frac{1}{\sqrt{3}} \Delta_{max} \quad (19)$$

The value u_{table} shall be measured and considered in the uncertainty budget (see CISPR 16-4-2) in the following frequency ranges:

- 200 MHz to 1 GHz;
- 1 GHz to 6 GHz;
- 6 GHz to 18 GHz.

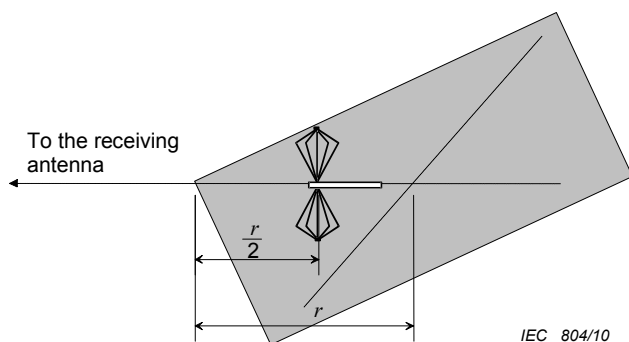


Figure 14 – Position of the antenna relative to the edge above a rectangle set-up table (top view)

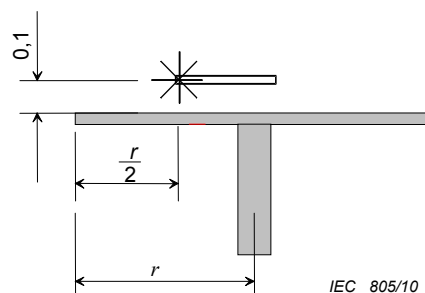


Figure 15 – Antenna position above the set-up table (side view)

NOTE Set-up table construction and the type of materials will vary among test laboratories. It is sufficient to determine the worst-case value of Δ (or $V_{R,with}$) in the determination of u_{table} .

6 Reverberating chamber for total radiated power measurement

6.1 General

For some types of equipment operating in the microwave frequency range, because of the existence of complex three-dimensional radiation patterns which are sensitive to equipment operating conditions and its surroundings, the measurement of total radiated power is considered to be a significant parameter related to disturbance control. It can be measured by placing the equipment in a suitable chamber with metal walls. To avoid effects of standing waves that would otherwise produce non-uniform distribution of energy density with position in the chamber, rotating stirrers are installed. With proper size, shape and position, the energy density at any position in the chamber varies randomly with a constant statistical distribution law in phase, amplitude and polarization.

6.2 Chamber

6.2.1 Chamber size and shape

The linear dimensions of the chamber shall be large relative to the wavelength of the lowest frequency of interest. It shall also be large enough to accommodate the equipment under test, the stirrers and the measuring antennas. Microwave equipment varies in size from the small table top oven having a volume of about 0,2 m³ to large units 1,7 m high with a 760 mm base. The chamber may be of any shape provided its three dimensions are of the same order. The three dimensions should preferably be different. For a lowest frequency of 1 GHz, the chamber shall have a volume at least 8 m³. The actual dimensions will depend on the physical characteristics of the chamber. See 6.2.4 for method of test of the suitability of the chamber.

The walls and the stirrers shall be metallic. Joints between the metallic members shall be mechanically sound and of low electrical resistance along the whole length, and there shall be no surface corrosion. No absorbing material, such as wood, shall be placed inside the chamber.

6.2.2 Door, openings in walls, and mounting brackets

The enclosure door shall be large enough to allow the passage of operators and equipment. It shall open outward, and fit tightly to minimize energy losses. For convenience in mounting, transmitting and receiving antennas inside the chamber, mounting brackets may be fixed to the walls.

6.2.3 Stirrers

6.2.3.1 General

The following describes two examples of stirrers. Other shapes are permissible provided stirring efficiency meets the criteria in 6.2.4.

6.2.3.2 Rotating vanes

If rotating vanes are used, two vanes are placed on adjacent walls of the chamber spaced at least $1/4$ of the maximum wavelength used from the walls and of sufficient thickness to be rigid. They shall be of the maximum length allowed by the wall sizes and their width shall be about $1/5$ of the length.

6.2.3.3 Rotating paddles

If rotating paddles are used, two or three paddles are mounted on the walls of the chamber. The paddles shall be mutually at right angles. The paddles may be of the shape shown in Figure 16 and rotate about an axis parallel to their length. The diameter of the swept tubular space shall be at least equal to the maximum wavelength used, and the lengths shall be the maximum allowed by the wall sizes. The structure shall be rigid.

Dimensions in millimetres

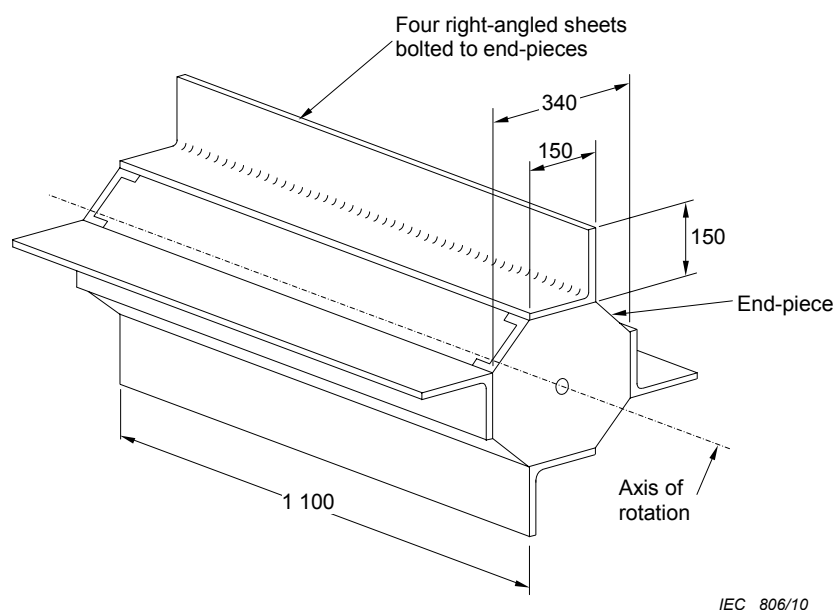


Figure 16 – Example of a typical paddle stirrer

6.2.3.4 Rotating speed

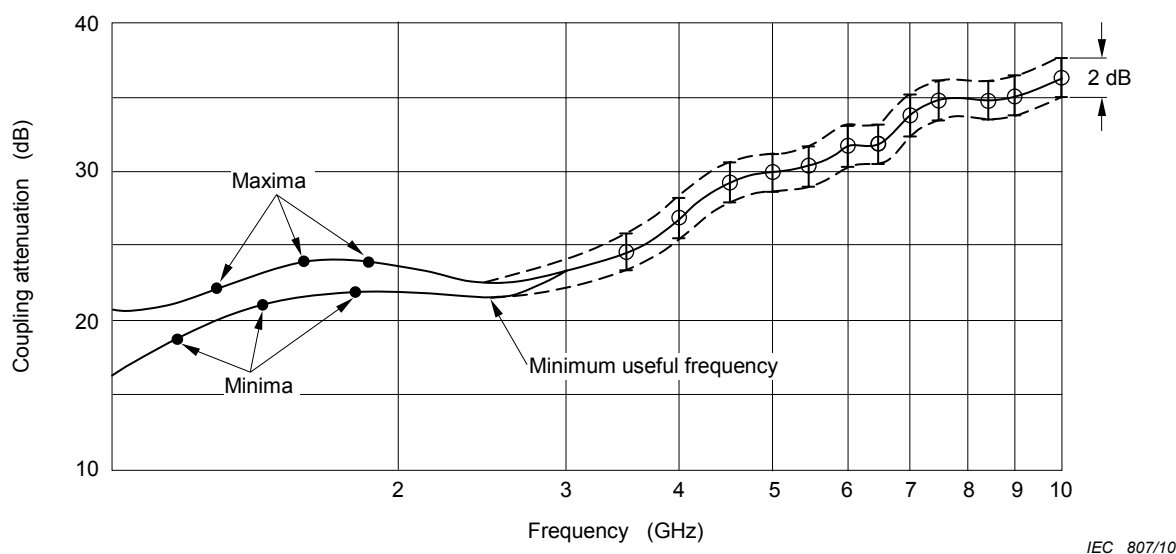
The rotation speeds of the stirrers shall be different. The longest time for one rotation of the stirrers shall be less than $1/5$ of the integrating time of the measuring instrument. For the measuring equipment described in 6.2.5, a suitable rate is between 50 r/min and 200 r/min. The motors used to rotate the stirrers, together with their reduction gear, should preferably be outside the walls of the chamber.

6.2.4 Test for the efficiency of the stirrers

The desired uniform distribution of energy in the chamber is shown by the smoothness of the variation with frequency of coupling attenuation (described in 6.2.5). At low frequencies, due to the longer wavelengths, it is more difficult to achieve this uniformity and there exist pronounced

maxima and minima. The greater the efficiency of the stirrers, the smaller are these maxima and minima and hence the usable frequency is lower.

The coupling attenuation is measured over the usable frequency range of the chamber. At the lower frequencies where the maxima and minima are observable, values shall be measured at about 100 MHz intervals. The receiving antenna then remains fixed, the transmitting antenna is rotated at 45° intervals and the test is repeated for each position and at each frequency. The whole test shall be repeated again with the receiving antenna rotated at 90°. The stirrers are considered satisfactory when: (1) the envelope of the graph of the maxima and the minima does not exceed 2 dB in any position of the transmitting antenna, and, (2) the means of the four graphs are within an envelope of 2 dB or less. Figure 17 shows a typical result.



NOTE All measured points should lie inside the 2 dB envelope marked by the dotted line.

Figure 17 – Range of coupling attenuation as a function of frequency for a chamber using the stirrer shown in Figure 16

6.2.5 Coupling attenuation

The coupling attenuation of a chamber is the insertion loss measured between the terminals of the transmitting and the receiving antennas in the chamber. A calibrated signal generator whose power output can be accurately measured is used to feed power to a low-loss transmitting antenna (e.g. a horn antenna) located inside the chamber or on a chamber wall. A receiving antenna may be placed at any point in the chamber provided it is at least 1/4 wavelength from the walls and not pointing toward the transmitting antenna, towards the nearest chamber wall, or aligned with any of the chamber axis.

A low-noise RF amplifier is connected to the receiving antenna via a high-pass filter; its output is connected through a band-pass filter to a diode detector. The band-pass filter shall be tuned to the frequency of interest and be of the specified bandwidth. The output of the detector is connected to a peak reading voltmeter with a specified peak-hold time (the hold time will depend on the equipment being measured). A spectrum analyzer may also be used for this measurement. The power absorbed by the transmitting antenna, P , is noted. The signal generator is then connected to the input of the low-noise amplifier, and its power output, p , is adjusted to give the same voltmeter reading. The power absorbed by the low-noise amplifier is noted. The coupling attenuation is given by $10 \log (P/p)$ dB.

7 TEM cells for immunity to radiated disturbance measurement

Radiated immunity measurements may be performed in TEM waveguides using the methods specified in IEC 61000-4-20.

8 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range 1 GHz to 18 GHz

8.1 General

The test site shall rely on reflection-free conditions. It may be necessary to use absorbing material and/or to raise the height of the EUT to achieve these free-space conditions.

NOTE In the case of floor standing equipment tests, reflection-free conditions may not be achieved close to the ground.

8.2 Reference test site

The reference test site shall be a free-space, open area test site (FSOATS) with precautions to ensure that reflections do not influence the measurement.

NOTE The FSOATS is the concept of the test site. A practical approximation is a FAR that meets the validation requirements given below.

8.3 Validation of the test site

8.3.1 General

A test site shall be considered acceptable for radiated electromagnetic field measurements in 1 GHz to 18 GHz if it satisfies the criterion provided in 8.3.2; 8.3.3 provides the site validation procedure. For the purposes of testing per CISPR standards, site validation measurements shall be performed from 1 GHz to the maximum frequency in use at the test facility; the maximum frequency shall be at least 2 GHz.

Test sites used for measurements in 1 GHz to 18 GHz shall have a design that minimizes the influence of reflections upon the received signal, for example an anechoic chamber. If the site is not designed to provide fully-anechoic conditions, for example a semi-anechoic chamber, use of absorbing material to cover part of the metal ground plane is required, as described below.

In cases where the test volume extends from the conducting floor of the facility to above the EUT, as may be typical for facilities used primarily for testing floor-standing EUTs, absorber shall be placed in the test volume for the validation as necessary. To accommodate testing of floor-standing equipment that cannot be positioned above the ground plane, illumination of the test volume for a height of up to 30 cm may be obstructed by absorber placed on the ground plane.

During the emission testing of a floor-standing EUT, floor absorber used during the site validation may be removed in the immediate area (footprint) of the EUT, and for up to 10 cm surrounding the EUT footprint.

In facilities where the test volume is above the height of the absorber, as may be typical of facilities used for testing table-top equipment, absorber may be placed under the test volume for both site validation and equipment tests. Photographs showing the site absorber configuration and transmit/receive antenna locations shall be included in the site validation report.

Site validation is performed by measurements of the so-called site voltage standing-wave ratio (S_{VSWR}). The site validation method evaluates a given test volume for the specific combination of site, receive antenna, test distance (described in CISPR 16-2-3), and absorbing material placed on the ground plane, if needed to meet the criterion of 8.3.2.

Influences of the receive antenna mast located as used for the site validation tests, and permanently-fixed objects in the test volume (such as a permanently-installed turntable), are evaluated by and included in this site validation procedure. Removable objects, such as a removable test table, are not required to be in place during the site validation tests if their influence is to be evaluated separately using the additional procedures of 5.4 of this standard.

CISPR 16-2-3 provides a description of the EUT measurement method used for testing in 1 GHz to 18 GHz. The purpose of the S_{VSWR} procedure is to check for the influence of reflections that may be incident upon an EUT of arbitrary size and shape placed within the test volume as evaluated using this procedure.

The S_{VSWR} is the ratio of maximum received signal to minimum received signal, caused by interference between direct (intended) and reflected signals, or

$$S_{VSWR} = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (20)$$

where

$E_{\max}$ and $E_{\min}$ are the maximum and minimum received signals, and

$V_{\max}$ and $V_{\min}$ are the corresponding measured voltages when a receiver or spectrum analyzer is used for reception.

For the procedures that follow, decibels (dB) are typically employed for measurements and calculations. In this case, S_{VSWR} is given by

$$S_{VSWR,dB} = 20 \log \left(\frac{V_{\max}}{V_{\min}} \right) = 20 \log \left(\frac{E_{\max}}{E_{\min}} \right) = V_{\max,dB} - V_{\min,dB} = E_{\max,dB} - E_{\min,dB} \quad (21)$$

NOTE 1 When decibels are employed, $S_{VSWR,dB}$ may be taken as the difference of maximum to minimum signal received in units of dBm, dB(μV), or dB(μV/m), as appropriate for the instrumentation or signal detector used.

NOTE 2 The value of S_{VSWR} or $S_{VSWR,dB}$ is computed separately from the maximum and minimum signal obtained at each frequency and polarization for a set of six measurements as described in 8.3.3.

8.3.2 Acceptance criterion for site validation

The S_{VSWR} is directly related to influences of undesired reflections. The acceptance criterion for 1 GHz to 18 GHz site validations is:

$$S_{VSWR} \leq 2:1, \text{ or } S_{VSWR,dB} \leq 6,0 \text{ dB},$$

for S_{VSWR} measured in accordance with the procedures of 8.3.3.

8.3.3 Site validation procedures – evaluation of S_{VSWR}

8.3.3.1 Antenna requirements

8.3.3.1.1 General

To provide illumination of all reflecting surfaces during this test, and to simulate the possible low-directivity antenna gains exhibited by many actual EUTs, this subclause specifies characteristics for equipment used for S_{VSWR} testing. Manufacturer-supplied data may be used to evaluate whether the test-equipment requirements are met.

8.3.3.1.2 Test equipment for the standard S_{VSWR} procedure (i.e. 8.3.3.3)

8.3.3.1.2.1 General

The receive antenna shall be linearly polarized, and shall be the same type as used for EUT emissions measurements. For the transmit antenna, the 0°-reference angle for the pattern specifications is the angle where the antenna faces the receive antenna (aperture planes parallel); this is also deemed the “boresight” direction, Θ_B .

The antenna used as a transmit source shall be linearly polarized and shall have a dipole-like radiation pattern with the following detailed characteristics. Radiation pattern data shall be available with a frequency step size less than or equal to 1 GHz.

NOTE It is assumed that the antenna also meets the requirements at other frequencies used for the S_{VSWR} test.

8.3.3.1.2.2 Transmit antenna *E*-plane radiation pattern

An *E*-plane radiation pattern for an antenna with simple linear polarization can be measured at one of many possible cut planes (constant azimuth angle) around the radiation sphere. The cut plane for pattern measurements shall be selected by the antenna manufacturer and described in the antenna characterization report. One convenient choice typically is the plane containing the connector and the cable routing.

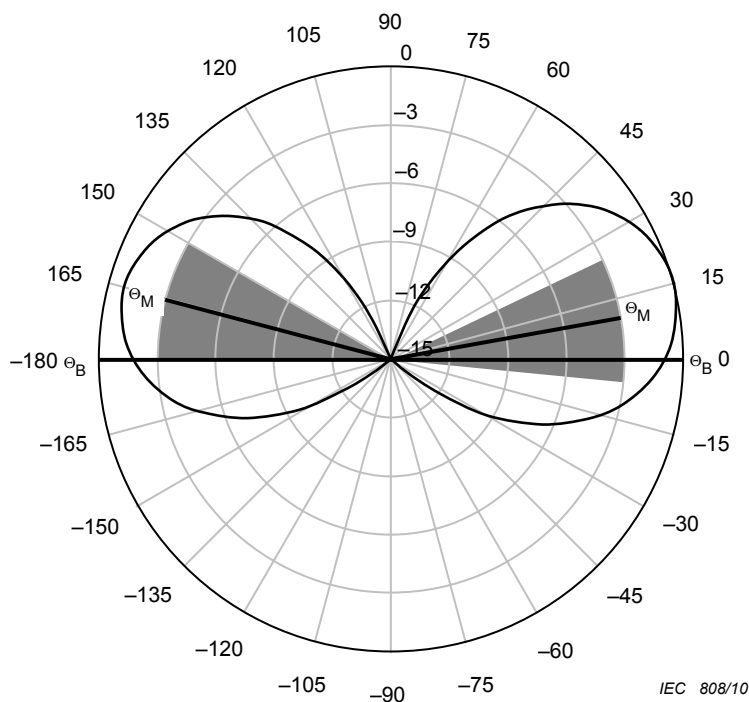
- a) Choose a main lobe direction, designated as Θ_M , for the right and the left side of each pattern. Θ_M shall be between $0^\circ \pm 15^\circ$ and $180^\circ \pm 15^\circ$, respectively.
- b) Draw the so-called forbidden area symmetrical to the main lobe directions on both sides of the pattern²⁾ where amplitude is ≤ -3 dB for $\pm 15^\circ$.

NOTE This limit ensures a smooth pattern in the boresight region, and an acceptable omnidirectional behaviour.

- c) The *E*-plane pattern shall not enter the forbidden area.

Figure 18 shows an example radiation pattern that meets the preceding *E*-plane requirements.

²⁾ This limit ensures a smooth pattern in the boresight region, and an acceptable omnidirectional behaviour.



NOTE The example plot is for an antenna that meets the *E*-plane requirements of this subclause. The main lobe directions, Θ_M , for the right and the left side of each pattern are between $0^\circ \pm 15^\circ$ and $180^\circ \pm 15^\circ$ respectively. The shaded areas represent the “forbidden area” where amplitude would be ≤ -3 dB for $\pm 15^\circ$ of each main lobe. The antenna pattern does not enter the forbidden area.

**Figure 18 – Transmit antenna *E*-plane radiation pattern example
(this example is for informative purposes only)**

8.3.3.1.2.3 Transmit antenna *H*-plane radiation pattern

There is only one possible plane in which to measure the *H*-plane pattern of a dipole antenna, which is the plane orthogonal to the dipole axis intersecting the centre of the dipole. This plane may include a balun, an input connector, and the input cable, depending whether a metal or optical fiber is used. The manufacturer of the antenna shall describe the set-up used to measure radiation patterns, including the feed cabling and connector locations, in the test report of the antenna.

- Average the radiation pattern data (in dB) over the range of $\pm 135^\circ$ (0° is the boresight angle, Θ_B). The maximum step size for this pattern data is 5° in the frequency range of 1 GHz to 6 GHz, and 1° from 6 GHz to 18 GHz.
- The pattern shall not exceed the following deviations from the $\pm 135^\circ$ -averaged value:

Angle range	1 GHz to 6 GHz	6 GHz to 18 GHz
-60° to 60°	± 2 dB	± 3 dB
-60° to -135° , 60° to 135°	± 3 dB	± 4 dB
-135° to -180° , 135° to 180°	$< +3$ dB	$< +4$ dB

NOTE Although a lower bound on the *H*-plane pattern is not specified outside of $\pm 135^\circ$, it is desirable for the *H*-plane pattern not to show a null at $\pm 180^\circ$, but to be omnidirectional as best as possible. Guidance provided by the antenna manufacturer on the routing of the feed cabling and antenna mast should be followed, if available, to minimize the possible influence on *H*-plane pattern outside of $\pm 135^\circ$.

Figure 19 shows an example pattern that meets the preceding *H*-plane requirements.

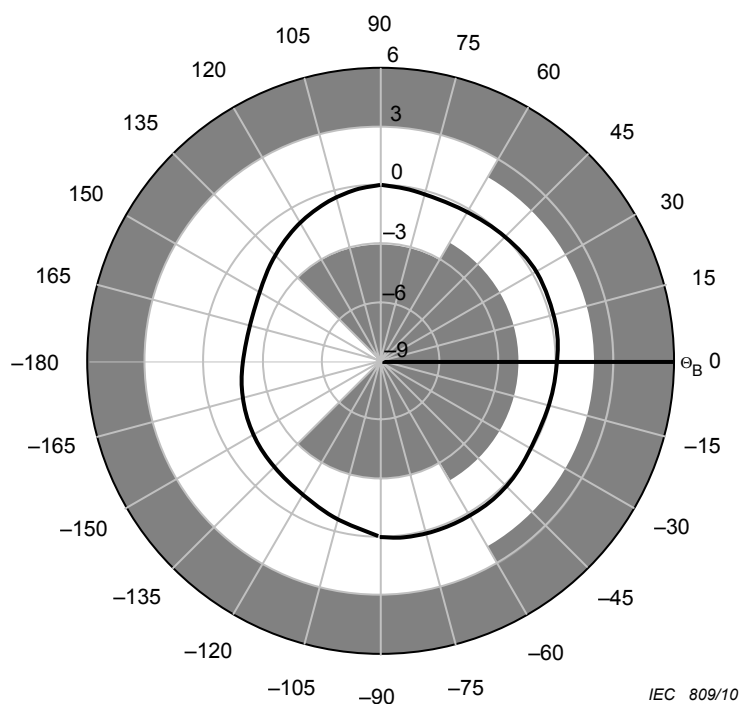


Figure 19a – Transmit antenna *H*-plane radiation pattern – 1 GHz to 6 GHz

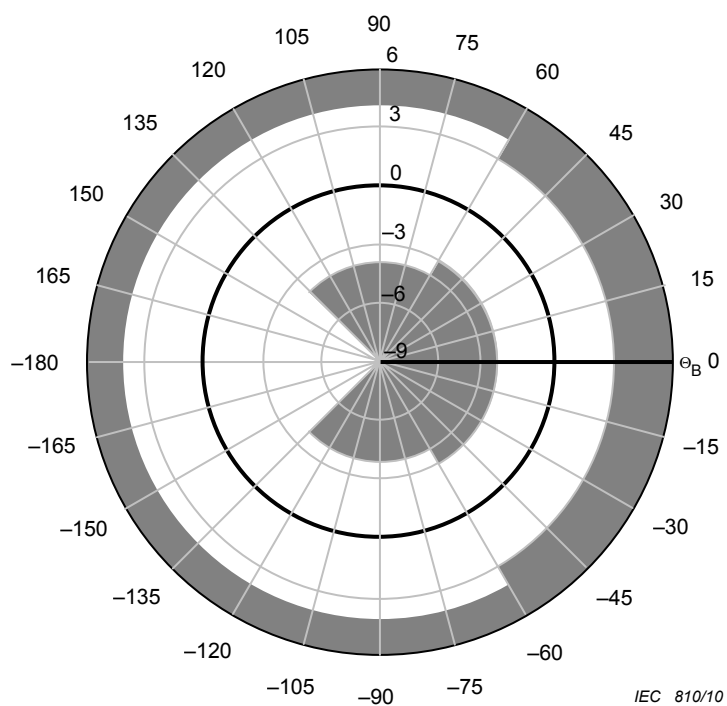


Figure 19b – Transmit antenna *H*-plane radiation pattern – 6 GHz to 18 GHz

NOTE The example plot is for an antenna that meets the *H*-plane requirements. The shaded areas represent the maximum permissible deviations stated in this subclause. This example antenna meets the requirements because the pattern does not enter the shaded regions.

**Figure 19 – Transmit antenna *H*-plane radiation pattern
(this example is for informative purposes only)**

8.3.3.1.3 Test equipment for the reciprocal S_{VSWR} procedure (i.e. 8.3.3.4)

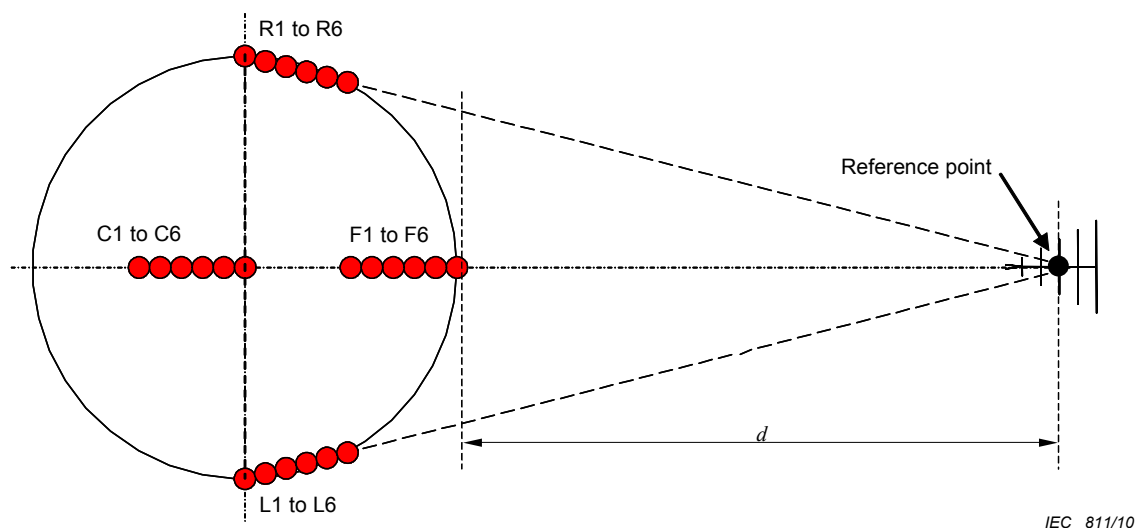
The antenna used to transmit from the test volume shall be the same type as used later for emissions measurements. The isotropic field probe used shall be omnidirectional with anisotropy of no more than 3 dB.

8.3.3.2 Required positions for site validation testing

8.3.3.2.1 General

The site validation test shall be performed for a volume in the shape of a cylinder. The bottom of the cylinder is established by the surface that is used to support the EUT. The top of the cylinder is chosen as the maximum height that an EUT and its vertical overhead cabling would occupy. The diameter of the cylinder is the largest diameter required to accommodate an EUT including cables. For cables that leave the test volume, a 30 cm section of these cables shall be assumed to establish the dimensions of the volume. To accommodate floor-standing equipment that cannot be raised above the supporting surface, test-volume illumination for a height of up to 30 cm from the bottom of the test volume is allowed to be obstructed by absorber placed on the ground plane. According to the procedure of 8.3.3.3, the S_{VSWR} is evaluated by placing the receive antenna at the position for which the volume shall be validated, and varying the transmit source location across the defined positions. Alternatively, using the reciprocal S_{VSWR} procedure of 8.3.3.4, the positions described in this subclause are used for the placement of the field probe in the test volume.

The required locations to perform the S_{VSWR} measurements are dependent upon the dimensions of the test volume. Details of the conditional test position requirements are given in 8.3.3.5. The S_{VSWR} is evaluated for each required location and polarization by a sequence of six measurements along a line to the reference point of the receive antenna. All of the possible required locations are illustrated in Figure 20 and Figure 21, including the conditional locations described in 8.3.3.5. The sequence of six measurements along the line to the receive antenna is indicated by dots in these figures.



Key
 d test distance

**Figure 20 – S_{VSWR} measurement positions in a horizontal plane
 (see 8.3.3.2.2 for description)**

8.3.3.2.2 Descriptions of S_{VSWR} measurement positions in a horizontal plane (Figure 20)

This subclause describes how the S_{VSWR} measurement positions are found in a horizontal plane illustrated in Figure 20.

- a) Front positions 1 to 6 (F1 to F6): The front positions are on a line from the centre of the test volume to the receive antenna reference point. To locate these positions, first locate F6 at the front extent of the test volume, on the measurement axis spaced away at the test distance, d from the reference point of the receive antenna.

F5 to F1 are measured relative to F6 as follows, moving away from the receive antenna:

- 1) F5 = F6 + 2 cm away from the receive antenna
- 2) F4 = F6 + 10 cm away from the receive antenna
- 3) F3 = F6 + 18 cm away from the receive antenna
- 4) F2 = F6 + 30 cm away from the receive antenna
- 5) F1 = F6 + 40 cm away from the receive antenna

- b) Right positions 1 to 6 (R1 to R6): These positions are located relative to position R6. R6 is found by determining the right extent of the test volume (position R1), then moving on a line toward the receive antenna reference point 40 cm (see Figure 20).

Positions R5 to R1 are measured relative to R6 as follows, moving away from the receive antenna:

- 1) R5 = R6 + 2 cm away from the receive antenna
- 2) R4 = R6 + 10 cm away from the receive antenna
- 3) R3 = R6 + 18 cm away from the receive antenna
- 4) R2 = R6 + 30 cm away from the receive antenna
- 5) R1 = R6 + 40 cm away from the receive antenna

- c) Left positions 1 to 6 (L1 to L6): These positions are located relative to position L6. L6 is found by determining the left extent of the test volume (position L1), then moving on a line toward the receive antenna reference point 40 cm (see Figure 20).

Positions L5 to L1 are measured relative to L6 as follows, moving away from the receive antenna:

- 1) L5 = L6 + 2 cm away from the receive antenna
- 2) L4 = L6 + 10 cm away from the receive antenna
- 3) L3 = L6 + 18 cm away from the receive antenna
- 4) L2 = L6 + 30 cm away from the receive antenna
- 5) L1 = L6 + 40 cm away from the receive antenna

- d) Centre positions 1 to 6 (C1 to C6): These positions are located relative to position C6. Position C6 is at the centre of the test volume. Positions C1 to C6 are required to be tested when the test volume diameter is greater than 1,5 m (see 8.3.3.5).

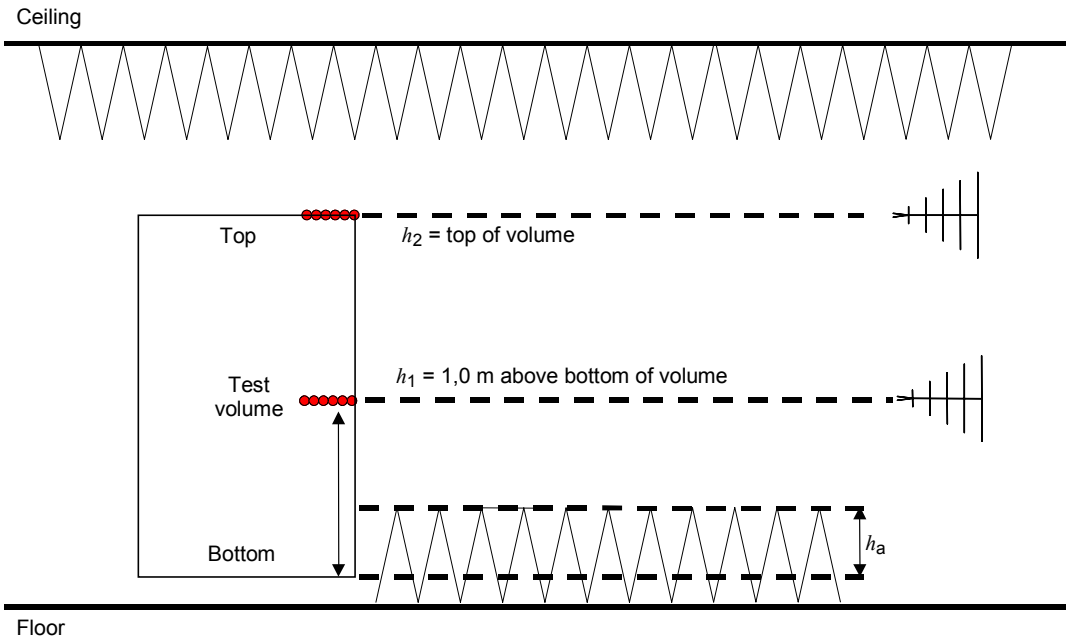
C5 to C1 are measured relative to C6, moving away from the receive antenna as follows:

- 1) C5 = C6 + 2 cm away from the receive antenna
- 2) C4 = C6 + 10 cm away from the receive antenna
- 3) C3 = C6 + 18 cm away from the receive antenna
- 4) C2 = C6 + 30 cm away from the receive antenna
- 5) C1 = C6 + 40 cm away from the receive antenna

8.3.3.2.3 Descriptions of S_{VSWR} additional measurement positions (Figure 21)

In addition to the locations indicated in Figure 20, an additional S_{VSWR} test plane at the top of the test volume may be required depending upon the height of the test volume. Figure 21 illustrates the additional height requirement for S_{VSWR} measurements. The test at the second height is to be performed at the front position only.

Table 5 provides a summary of the test positions. In Table 5, the positions are grouped according to height (h_1 , h_2) and location (front, left, right, centre). For each location, a reference position is designated for use in the calculations required by Equation (22). The positions are designated as P_{mnopq} , where the subscripts correspond to the position names as listed in the first column of Table 5.



IEC 812/10

Key

- h_a the portion of the test volume that is obstructed by absorber placed on the floor (30 cm maximum)
- h_1 height located at the middle of the test volume, or 1,0 m above the bottom of the test volume, whichever is lower
- h_2 height located at the top of the test volume and required to be tested when h_2 is separated by at least 0,5 m from h_1 (see 8.3.3.5 for details)

Figure 21 – S_{VSWR} positions (height requirements)

Table 5 – S_{VSWR} test position designations

Position name	Location	Height	Polarization	Reference position for d_{ref} [see Equation (22)]	Location relative to reference position
Front positions (Front, h_1) at first height					
F1h1H	Front	h_1	Horizontal	F6h1	+40 cm away from the receive antenna
F1h1V	Front	h_1	Vertical	F6h1	+40 cm away from the receive antenna
F2h1H	Front	h_1	Horizontal	F6h1	+30 cm away from the receive antenna
F2h1V	Front	h_1	Vertical	F6h1	+30 cm away from the receive antenna
F3h1H	Front	h_1	Horizontal	F6h1	+18 cm away from the receive antenna
F3h1V	Front	h_1	Vertical	F6h1	+18 cm away from the receive antenna
F4h1H	Front	h_1	Horizontal	F6h1	+10 cm away from the receive antenna
F4h1V	Front	h_1	Vertical	F6h1	+10 cm away from the receive antenna
F5h1H	Front	h_1	Horizontal	F6h1	+2 cm away from the receive antenna
F5h1V	Front	h_1	Vertical	F6h1	+2 cm away from the receive antenna
F6h1H	Front	h_1	Horizontal	F6h1	= Reference position (Front, h_1)
F6h1V	Front	h_1	Vertical	F6h1	= Reference position (Front, h_1)
Centre positions (Centre, h_1) at first height (if required - see 8.3.3.5)					
C1h1H	Centre	h_1	Horizontal	C6h1	+40 cm away from the receive antenna
C1h1V	Centre	h_1	Vertical	C6h1	+40 cm away from the receive antenna
C2h1H	Centre	h_1	Horizontal	C6h1	+30 cm away from the receive antenna
C2h1V	Centre	h_1	Vertical	C6h1	+30 cm away from the receive antenna
C3h1H	Centre	h_1	Horizontal	C6h1	+18 cm away from the receive antenna
C3h1V	Centre	h_1	Vertical	C6h1	+18 cm away from the receive antenna
C4h1H	Centre	h_1	Horizontal	C6h1	+10 cm away from the receive antenna
C4h1V	Centre	h_1	Vertical	C6h1	+10 cm away from the receive antenna
C5h1H	Centre	h_1	Horizontal	C6h1	+2 cm away from the receive antenna
C5h1V	Centre	h_1	Vertical	C6h1	+2 cm away from the receive antenna
C6h1H	Centre	h_1	Horizontal	C6h1	= Reference position (centre, h_1)
C6h1V	Centre	h_1	Vertical	C6h1	= Reference position (centre, h_1)

Table 5 (continued)

Position name	Location	Height	Polarization	Reference position for d_{ref} [see Equation (22)]	Location relative to reference position
Right positions at first height					
R1h1H	Right	h_1	Horizontal	R6h1	+40 cm away from the receive antenna at the right extent of the volume
R1h1V	Right	h_1	Vertical	R6h1	+40 cm away from the receive antenna at the right extent of the volume
R2h1H	Right	h_1	Horizontal	R6h1	+30 cm away from the receive antenna
R2h1V	Right	h_1	Vertical	R6h1	+30 cm away from the receive antenna
R3h1H	Right	h_1	Horizontal	R6h1	+18 cm away from the receive antenna
R3h1V	Right	h_1	Vertical	R6h1	+18 cm away from the receive antenna
R4h1H	Right	h_1	Horizontal	R6h1	+10 cm away from the receive antenna
R4h1V	Right	h_1	Vertical	R6h1	+10 cm away from the receive antenna
R5h1H	Right	h_1	Horizontal	R6h1	+2 cm away from the receive antenna
R5h1V	Right	h_1	Vertical	R6h1	+2 cm away from the receive antenna
R6h1H	Right	h_1	Horizontal	R6h1	= Reference position (Right, h_1)
R6h1V	Right	h_1	Vertical	R6h1	= Reference position (Right, h_1)
Left positions at first height					
L1h1H	Left	h_1	Horizontal	L6h1	+40 cm away from the receive antenna at the left extent of the volume
L1h1V	Left	h_1	Vertical	L6h1	+40 cm away from the receive antenna at the left extent of the volume
L2h1H	Left	h_1	Horizontal	L6h1	+30 cm away from the receive antenna
L2h1V	Left	h_1	Vertical	L6h1	+30 cm away from the receive antenna
L3h1H	Left	h_1	Horizontal	L6h1	+18 cm away from the receive antenna
L3h1V	Left	h_1	Vertical	L6h1	+18 cm away from the receive antenna
L4h1H	Left	h_1	Horizontal	L6h1	+10 cm away from the receive antenna
L4h1V	Left	h_1	Vertical	L6h1	+10 cm away from the receive antenna
L5h1H	Left	h_1	Horizontal	L6h1	+2 cm away from the receive antenna
L5h1V	Left	h_1	Vertical	L6h1	+2 cm away from the receive antenna
L6h1H	Left	h_1	Horizontal	L6h1	= Reference position (Left, h_1)
L6h1V	Left	h_1	Vertical	L6h1	= Reference position (Left, h_1)

Table 5 (continued)

Position name	Location	Height	Polarization	Reference position for d_{ref} [see Equation (22)]	Location relative to reference position
Front positions at second height (if required – see 8.3.3.5)					
F1h2H	Front	h_2	Horizontal	F6h2	+40 cm away from the receive antenna
F1h2V	Front	h_2	Vertical	F6h2	+40 cm away from the receive antenna
F2h2H	Front	h_2	Horizontal	F6h2	+30 cm away from the receive antenna
F2h2V	Front	h_2	Vertical	F6h2	+30 cm away from the receive antenna
F3h2H	Front	h_2	Horizontal	F6h2	+18 cm away from the receive antenna
F3h2V	Front	h_2	Vertical	F6h2	+18 cm away from the receive antenna
F4h2H	Front	h_2	Horizontal	F6h2	+10 cm away from the receive antenna
F4h2V	Front	h_2	Vertical	F6h2	+10 cm away from the receive antenna
F5h2H	Front	h_2	Horizontal	F6h2	+2 cm away from the receive antenna
F5h2V	Front	h_2	Vertical	F6h2	+2 cm away from the receive antenna
F6h2H	Front	h_2	Horizontal	F6h2	= Reference position (Front, h_2)
F6h2V	Front	h_2	Vertical	F6h2	= Reference position (Front, h_2)
NOTE These S_{VSWR} measurements may be performed in any sequence.					

8.3.3.3 S_{VSWR} site validation – standard test procedure

In the following procedure, the positions are designated as P_{mnopq} , where the subscripts correspond to the position names as listed in the first column of Table 5. The measured signal, M , is the received E -field or voltage measurement at each position, and is similarly denoted by subscripts as M_{mnopq} . For example, P_{F1h1H} is the position F1, at height 1, horizontal polarization, and its measured signal (in dB) is referred to as M_{F1h1H} .

- Locate the transmit source with its reference point at front position 6, height 1, in horizontal polarization (P_{F6h1H}). Locate the receive antenna, also in horizontal polarization, at the test distance d , measured from the source to the reference point of the receive antenna. Note that the receive antenna height shall be located at the same height as the transmit source for all measurements.
- Verify that the received signal displayed will be at least 20 dB above the ambient and above the measuring receiver or spectrum analyzer displayed noise across the entire frequency range to be measured. If not, it may be necessary to use different equipment (antennas, cables, signal generator, preamplifier) and/or use partial frequency ranges as appropriate to maintain a level of 20 dB above the displayed noise floor.
- Record the measured signal level, M_{F6h1H} at each frequency. Swept measurement or stepped frequency increments may be used. If stepped increments are used, the frequency increment shall be 50 MHz or less.
- Repeat steps a) and b) with the transmit source at the other five positions shown in Table 6 (see 8.3.3.6) for the front, height 1, horizontal polarization. In total, there will be six measurements for front, height 1, horizontal polarization (M_{F1h1H} through M_{F6h1H}) varying in separation distance from the receive antenna by the increments shown in Table 5.
- Change the polarization of the transmit source and receive antenna to vertical and repeat the above procedure for positions P_{F1h1V} through P_{F6h1V} in order to obtain M_{F1h1V} through M_{F6h1V} .
- For all measurements, normalize the measured E -field or voltage data to the distance of the reference position shown in Table 5, using Equation (22):

$$M'_{mnopq} = M_{mnopq} + 20 \log \left(\frac{d_{mnopq}}{d_{ref}} \right) \text{ dB} \quad (22)$$

where

d_{mnopq} is the actual separation distance for the measurement location;

d_{ref} is the separation distance measured to the reference position;

M_{mnopq} is the measured signal (E -field or receiver voltage) in dB. Note that each measurement location has a different reference position corresponding to position 6, as indicated in Table 5 for P_{mnopq} ;

M'_{mnopq} is normalized measured E -field or voltage data relative to the distance of the reference position shown in Table 5.

- g) Using Equation (20) or Equation (21), calculate the S_{VSWR} for horizontal polarization. Using Equation (21), $S_{VSWR, dB}$ can be obtained by subtracting the minimum received signal, $M_{min, dB}$, from the maximum received signal, $M_{max, dB}$, after distance corrections have been applied [i.e. step f)] for the six positions. Repeat the calculation for readings obtained using vertical polarization.
- h) The S_{VSWR} for each polarization shall fulfil the acceptance criteria of 8.3.2.
- i) Repeat steps a) to h) for the left and right positions of the test volume. Note that when the transmit source antenna is moved to the left or right, its boresight direction shall be aimed towards the receive antenna. However, the receive antenna shall remain facing towards the centre (not aimed at the side positions), which is the same direction it will be facing later during measurements performed on EUTs.
- j) If required by 8.3.3.5, repeat the above procedure for the measurements at the centre position, and for the measurements required at the second height. When measurements are performed at the second height, the receive antenna shall be at the same height as the transmit antenna.

8.3.3.4 S_{VSWR} site validation – reciprocal test procedure using an isotropic field probe

For shielded facilities (i.e. fully-anechoic or semi-anechoic chambers), it is permitted to evaluate S_{VSWR} using an isotropic field probe placed at the required locations of Table 5 and illuminating the test volume with the same antenna that is used later as the receive antenna for emissions testing. For the purposes of this standard, this method is termed the “reciprocal” method of S_{VSWR} determination. In this S_{VSWR} reciprocal procedure, the antenna to later be used as the receive antenna in EUT emissions testing is termed the “transmit” antenna, because it will be used to transmit to a probe located in the test volume. The isotropic field probe is required to fulfil the radiation pattern specifications of 8.3.3.1. The probe shall be capable of being aligned with the polarization of the transmit antenna, i.e. the location and orientation of the sensing elements within the probe shall be known.

The reciprocal S_{VSWR} site validation test procedure using an isotropic field probe is as follows.

- a) Place the field probe at the front position 6, height 1, in horizontal polarization (P_{F6h1H}). Place the transmit antenna at the test distance d as measured from the perimeter of the test volume to the reference point of the antenna. The transmit antenna height shall be at the same height as the probe for all positions.
- b) Verify that field strength magnitude is sufficient to allow proper functioning of the probe. For guidance on the equipment and procedures necessary to establish appropriate field strengths, refer to the manufacturers operating specifications for the probe (adequate sensitivity and measurement uncertainty). In addition, the transmit system and probe system should be checked for linearity, and harmonics shall be suppressed to a level of at least 15 dB below the primary signal. Use of a directional coupler is recommended to monitor forward power during the test, because variations in the output power level will

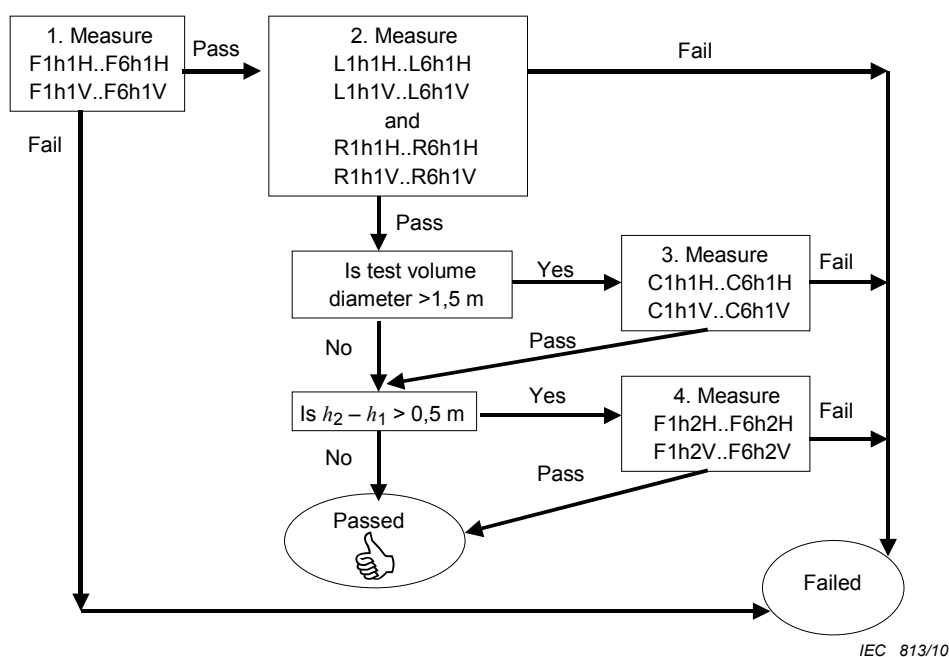
produce variations in the test results. It is important to provide stable output signals, because any signal variation due to instability of the signal source (e.g. bad cable connections, variations with warm-up time of the preamplifier, etc.) will result in additional variations of the results (i.e. artificially high S_{VSWR} results).

- c) Record the measured signal level, M_{F6h1H} , at each frequency. Swept measurement or stepped frequency increments may be used. If stepped increments are used, the frequency increment shall be 50 MHz or less.
- d) Repeat step c) with the field probe at the other five positions shown in Table 6 (see 8.3.3.6) for the front, height 1, horizontal polarization. In total, there will be six measurements for front, height 1, horizontal polarization (M_{F1h1H} through M_{F6h1H}) varying in separation distance from the receive antenna by the increments shown in Table 5.
- e) Change the polarization of the field probe and antenna to vertical, and repeat the above procedure for positions P_{F1h1V} through P_{F6h1V} , in order to obtain M_{F1h1V} through M_{F6h1V} .
- f) For all measurements, normalize the obtained data using Equation (22).
- g) Using Equation (20) or Equation (21), calculate the S_{VSWR} for horizontal polarization. Using Equation (21), $S_{VSWR,dB}$ can be obtained by subtracting the minimum received signal, $M_{min,dB}$, from the maximum received signal, $M_{max,dB}$, after distance corrections have been applied [i.e. step f)] for the six positions. Repeat the calculation for the readings obtained using vertical polarization.
- h) The S_{VSWR} for both polarizations shall fulfil the acceptance criteria of 8.3.2.
- i) Repeat the above procedure for the left and right positions of the test volume. Note that for this reciprocal S_{VSWR} procedure the probe may be adjusted to maintain a constant direction facing at the reference point of the transmit antenna. However, the transmit antenna shall remain facing toward the centre of the volume (not aimed at the side positions) in the same direction it will be facing during later measurements of EUTs.
- j) If required by 8.3.3.5, repeat the above procedure for the measurements at the centre position, and for any measurements required at the second height. When measurements are performed at the second height, the probe shall be at the same height as the transmit antenna.

8.3.3.5 Conditional test position requirements

As indicated in Figure 20, Figure 21 and Table 5, additional test positions are required to be tested depending upon the size of the test volume. Figure 22 presents a flow chart specifying when these additional measurements are required.

When additional test positions are required, S_{VSWR} is to be determined at each test frequency from each group of six measurements independently for horizontal and vertical polarization using the procedures of 8.3.3.3 or 8.3.3.4.



NOTE The measurements are not required to be performed in the sequence shown, and may proceed in any order such that all the required data is obtained.

Figure 22 – Conditional test position requirements

8.3.3.6 S_{VSWR} site validation test report

Table 6 lists a summary of all of the possible required S_{VSWR} measurements and calculations (normalized), including the results from the required positions and the conditional positions of 8.3.3.5.

The S_{VSWR} calculations and reporting requirements apply for each test frequency.

Table 6 – S_{VSWR} reporting requirements

Location	Height	Polarization	Type	S_{VSWR} dB
Front	h_1	Horizontal	Required	$= \text{Max } M'_{F1h1H} \dots M'_{F6h1H} - \text{Min } (M'_{F1h1H} \dots M'_{F6h1H})$
Front	h_1	Vertical	Required	$= \text{Max } (M'_{F1h1V} \dots M'_{F6h1V}) - \text{Min } (M'_{F1h1V} \dots M'_{F6h1V})$
Right	h_1	Horizontal	Required	$= \text{Max } (M'_{R1h1H} \dots M'_{R6h1H}) - \text{Min } (M'_{R1h1H} \dots M'_{R6h1H})$
Right	h_1	Vertical	Required	$= \text{Max } (M'_{R1h1V} \dots M'_{R6h1V}) - \text{Min } (M'_{R1h1V} \dots M'_{R6h1V})$
Left	h_1	Horizontal	Required	$= \text{Max } (M'_{L1h1H} \dots M'_{L6h1H}) - \text{Min } (M'_{L1h1H} \dots M'_{L6h1H})$
Left	h_1	Vertical	Required	$= \text{Max } (M'_{L1h1V} \dots M'_{L6h1V}) - \text{Min } (M'_{L1h1V} \dots M'_{L6h1V})$
Centre	h_1	Horizontal	Conditional	$= \text{Max } (M'_{C1h1H} \dots M'_{C6h1H}) - \text{Min } (M'_{C1h1H} \dots M'_{C6h1H})$
Centre	h_1	Vertical	Conditional	$= \text{Max } (M'_{C1h1V} \dots M'_{C6h1V}) - \text{Min } (M'_{C1h1V} \dots M'_{C6h1V})$
Front	h_2	Horizontal	Conditional	$= \text{Max } (M'_{F1h2H} \dots M'_{F6h2H}) - \text{Min } (M'_{F1h2H} \dots M'_{F6h2H})$
Front	h_2	Vertical	Conditional	$= \text{Max } (M'_{F1h2V} \dots M'_{F6h2V}) - \text{Min } (M'_{F1h2V} \dots M'_{F6h2V})$

8.3.3.7 Limitations of the S_{VSWR} site validation method

The measurement points chosen for 8.3.3.2 and contained in the preceding procedures are intended to provide an overall measure of the S_{VSWR} of the test site across the frequency range of 1 GHz to 18 GHz. Note however that the peak S_{VSWR} may not always be captured using the procedures of 8.3.3.3 or 8.3.3.4 at any specific frequency f . Therefore, statements about S_{VSWR} compliance based on measurements at any single frequency should be avoided. However, the peak found by the above procedures within adjacent octaves ($0,5f$ to $2f$) is typically representative of the worst case S_{VSWR} for all frequencies inclusive in the band.

In cases where more accuracy of the S_{VSWR} result is desired at a single frequency, the above method can be improved by measuring more than six locations along the lines shown Figure 20 and Figure 21. The additional data collection points should be spaced unequally, and chosen based on a distance translation of the source antenna (or field probe in the reciprocal S_{VSWR} method) using quarter-wavelength steps at the frequency of interest.

8.4 Alternative test sites

Any measurement site that achieves free-space conditions is a possible alternative test site.

9 Common mode absorption devices

9.1 General

Common mode absorption devices (CMADs) are applied on cables leaving the test volume during a radiated emission measurement. CMADs are used in radiated emission measurements to reduce variations in the measurement results between different test sites, due to possible differing values of common mode impedance and symmetry at the point where cables leave the test site (e.g. turntable centre). The basic characteristics of CMADs can be expressed in terms of S -parameters. Derived performance quantities such as insertion loss or reflection coefficient can be determined from these S -parameters. This clause specifies the measurement method for the verification of the S -parameters of a CMAD.

9.2 CMAD S -parameter measurements

S -parameters measured in a test jig, as described in 9.3, are used to characterise the properties of a CMAD. The values of the complex S -parameters are evaluated at the reference planes indicated in Figure 23. The reference method for the measurement of S -parameters with the highest possible accuracy uses a vector network analyzer (VNA) and the TRL calibration method, as described in 9.4.

9.3 CMAD test jig

A test jig used for measuring the S -parameters of a CMAD under test shall have a cylindrical metal rod above a metal ground plane, as shown in Figure 23. The metal rod between the vertical flanges of the test jig consists of three sections: one section forming a transmission line in the jig between the two reference planes, and two adaptor sections between the reference planes and the adaptor ports.

The effects on the measurement of a CMAD from the adaptor sections and the adaptor ports can be eliminated by using the TRL calibration method described in 9.4, providing a low uncertainty for the final measurements. Any type of adaptor may be used for the measurements of 9.4. Examples of adaptors are shown in Figures 26 to 28 (see 9.6).

The diameter d of the cylindrical rod shall be 4 mm. The height above the ground plane, h , is defined by the dimensions of the CMAD. Typical values are 30 mm, 65 mm, and 90 mm. The measurement shall be performed at the height defined by the construction of the CMAD. The distance between the reference plane and the vertical flange of the jig (adaptor section), L_A , shall be at least $2h$ (see Figure 23). The distances between the reference planes and the

CMAD ends, D_A and D_B , should be as small as possible, but not larger than h . The metal ground plane of the test jig shall be greater than $(L_{\text{jig}} + 4h)$ in length and greater than $4h$ in width.

The characteristic impedance, Z_{ref} , is given by the internal diameter of the line, d , (defined to be 4 mm), and by the height of the centre of the rod above the ground plane, h :

$$Z_{\text{ref}} = \frac{Z_0}{2\pi} \cos h^{-1} \left(\frac{2h}{d} \right) \text{ in } \Omega \quad (23)$$

where

Z_0 is the free-space impedance (i.e. 120π) in Ω ;

d is the test conductor diameter, defined to be 4 mm;

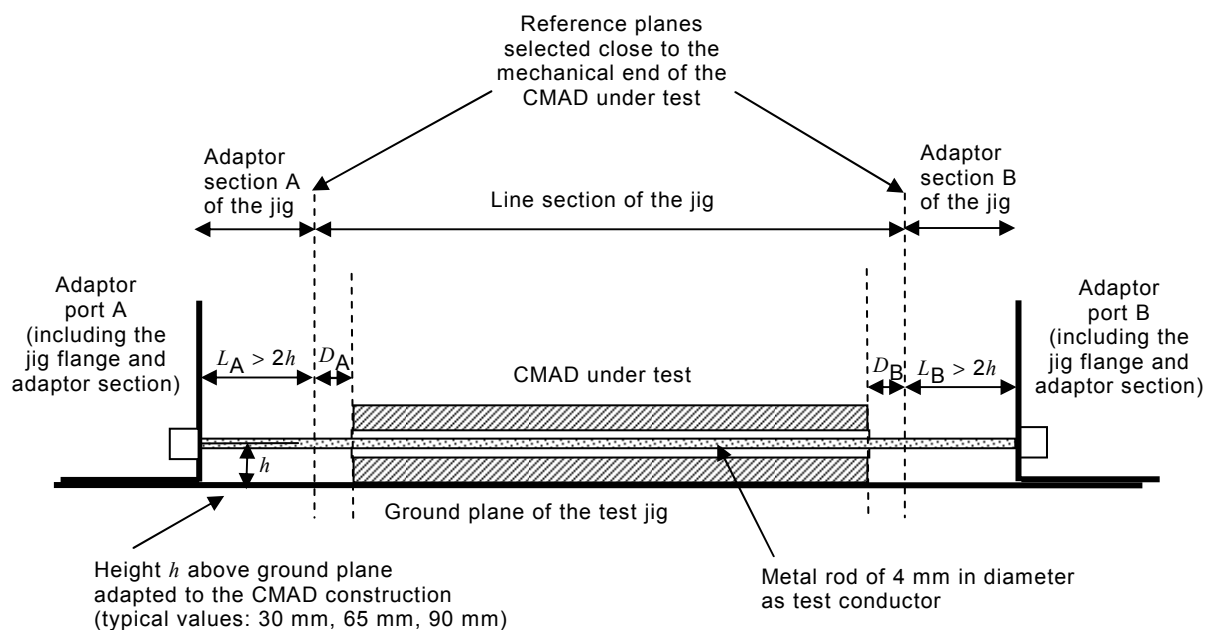
h is the height of the centre of the test conductor above the ground plane.

EXAMPLE Typical values of Z_{ref} for various heights h are:

$h = 30 \text{ mm} \quad \gg \quad Z_{\text{ref}} = 204 \Omega$

$h = 65 \text{ mm} \quad \gg \quad Z_{\text{ref}} = 248 \Omega$

$h = 90 \text{ mm} \quad \gg \quad Z_{\text{ref}} = 270 \Omega$



IEC 814/10

Figure 23 – Definition of the reference planes inside the test jig

9.4 Measurement method using the TRL calibration

The through-reflect-line (TRL) calibration method is recommended for measuring the S -parameters of CMADs. Use of this calibration procedure allows selection of the reference plane inside the test jig such that it is in close proximity to the location where the CMAD under test will be placed and hence distances D_A and D_B can be minimized (see Figure 23). The calibration requires a metal rod (termed “line”) with the same diameter and height as the transmission line section of the jig. The characteristic impedance and length of the line section have to be known exactly, and are introduced into the calibration data used by the firmware of the VNA or by external correction calculations.

The length of the line section, used for a TRL calibration process, determines the frequency range in which the TRL calibration can be performed. This frequency limitation results from the mathematical procedure used in the TRL calibration method, where at some frequencies a divide-by-zero (or very small values) condition is possible and shall be avoided.

If the length of the “line” reference is L , the frequency range shall be limited to between low and high frequencies f_L and f_H as follows:

$$f_L = 0,05 \frac{c}{L} \quad (24)$$

$$f_H = 0,45 \frac{c}{L} \quad (25)$$

where c is 3×10^8 m/s. A “line” length of 0,6 m is appropriate for calibration in the frequency range 30 MHz to 200 MHz. If the measurement has to be extended to higher frequencies, a second “line” calibration is necessary. A second calibration with a “line” length of 0,12 m would be appropriate for the frequency range 150 MHz to 1 000 MHz.

Four calibration configurations are necessary for the TRL calibration method, as follows.

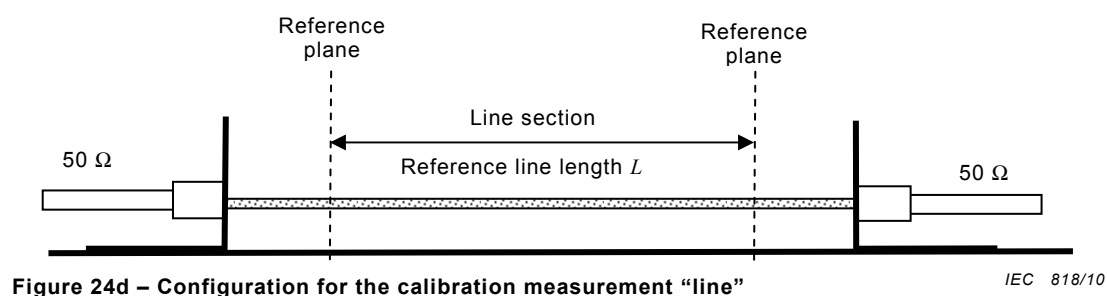
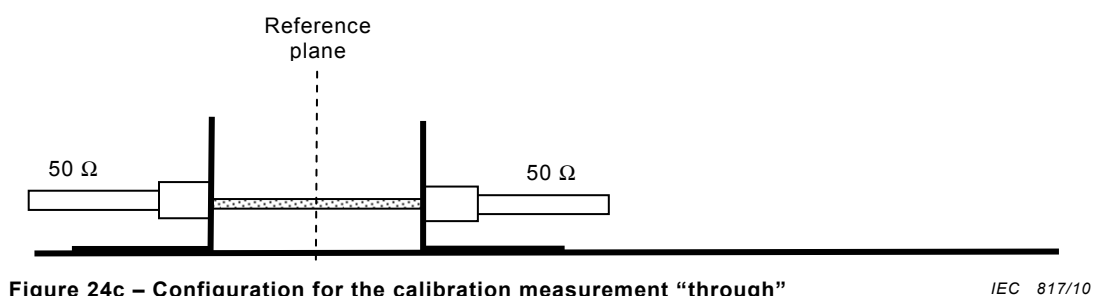
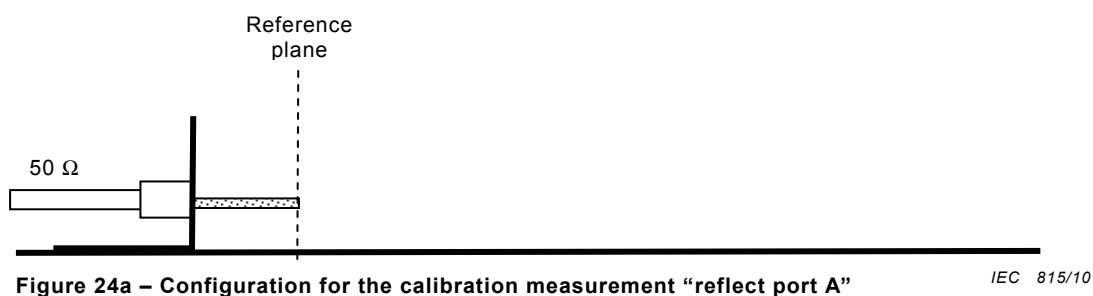
- “reflect” (port A): Measuring the complex value S_{11} of the adaptor section and adaptor without any other connection (simulating an open-circuit condition) [Figure 24 a];
- “reflect” (port B): Measuring the complex value S_{22} of the adaptor section and adaptor without any other connection (simulating an open-circuit condition) [Figure 24 b];
- “through”: Measuring the complex values S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22} with the two adaptor sections directly connected together (without the line section in between) [Figure 24 c];
- “line”: Measuring the complex values S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22} with the line section introduced [Figure 24 d]

These calibration measurements yield 10 complex numbers for each frequency point. If the VNA includes a firmware for TRL calibration, it will use these reference measurements to calculate the proper corrections for the TRL measurement. If the VNA does not support the TRL calibration, the necessary corrections may be made independent of the VNA according to the procedure described in CISPR/TR 16-3.

The properties of the adaptor sections and adaptor ports outside of the calibration planes do not need to be known for the TRL calibration; rather, these are measured in the calibration procedure and are compensated correctly by the TRL calibration. Different types of adaptors may be used. It is recommended to use the same type of adaptors and the same length of the adaptor section on both ends of the test jig. It is also recommended that the two adaptor sections are the same length, i.e. that $L_A = L_B$.

After calibration, the CMAD under test is introduced into the line section of the test jig. The adaptor sections and adaptors have to be exactly the same as used for the calibration. The length of the metal rod can be different from the length of the “line” used for the calibration, but the diameter (4 mm) and the height above the ground plane shall be the same as used for the

calibration. The metal rod inside the CMAD should be positioned as accurately as possible in the centre of the CMAD opening. The length of the metal rod can be selected such that the reference plane corresponds with the physical ends of the CMAD (i.e. D_A as small as possible). Typical CMADs have a length of 0,6 m. In this case, the 4 mm line section can be used for calibration covering the frequency range of 30 MHz to 200 MHz, as well as for the measurement of the CMAD (also including the frequency range above 200 MHz, calibrated by a shorter line section). The measurement results for a CMAD under test using the VNA measurement corrected by the TRL calibration is a set of the four S -parameters referenced to the characteristic impedance of the transmission line section (empty jig), $Z_{0,jig}$.



NOTE The length L of the reference line for the calibration needs not to be the same as the length used for the measurement of the CMAD. The length of the reference line for the calibration procedure is selected according to the frequency range needed.

Figure 24 – The four configurations for the TRL calibration

9.5 Specification of ferrite clamp-type CMAD

Ferrite clamp-type CMADs are used during radiated measurements below 1 GHz for the purpose of reducing compliance uncertainty. The characteristics of a CMAD are measured according to provisions of 9.1 to 9.3 and referenced to the characteristic impedance of the empty jig $Z_{0,jig}$.

A comparison of available ferrite clamp-type CMADs has shown that a magnitude of S_{21} less than 0,25 is required to provide sufficient decoupling. These values can be achieved with CMADs having a magnitude of S_{11} as shown in Figure 25.

Ferrite clamp CMADs shall meet the following specifications:

- a) the magnitude of S_{21} shall be less than 0,25 in the frequency range 30 MHz to 200 MHz;
- b) the magnitude of S_{11} shall be within the following limit range in the frequency range 30 MHz to 200 MHz:
 - upper limit 0,75 at 30 MHz and 0,55 at 200 MHz (decreasing linearly with the logarithm of the frequency);
 - lower limit 0,6 at 30 MHz and 0,4 at 200 MHz (decreasing linearly with the logarithm of the frequency).

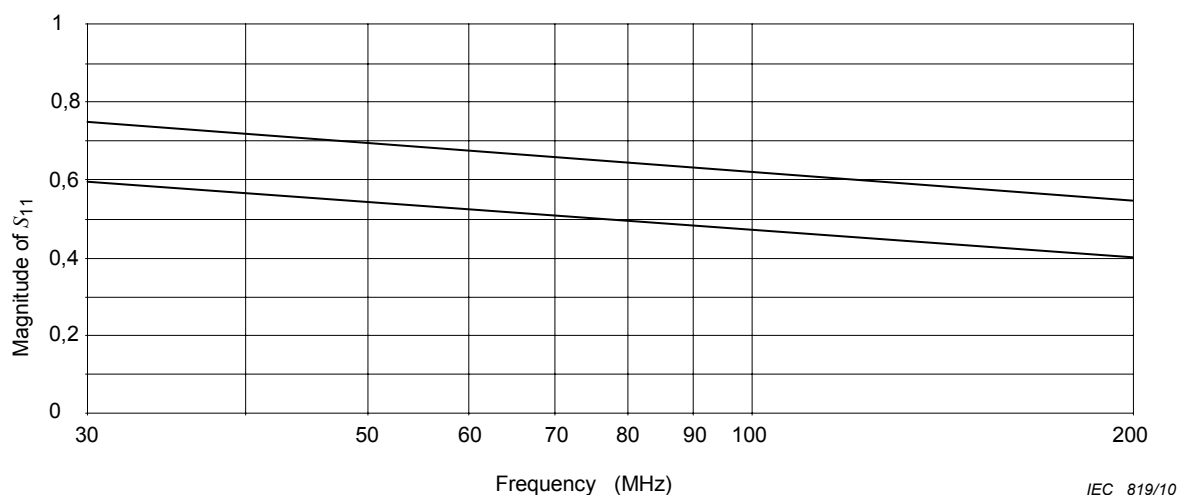


Figure 25 – Limits for the magnitude of S_{11} , measured according to provisions of 9.1 to 9.3

A specification in the frequency range from 200 MHz to 1 000 MHz is not required, because radiated emission measurements are not seriously affected by cable termination conditions at these frequencies.

A rationale for using S -parameters for the specification of ferrite-type CMADs is provided in 4.9 of CISPR/TR 16-3, Amendment 2.

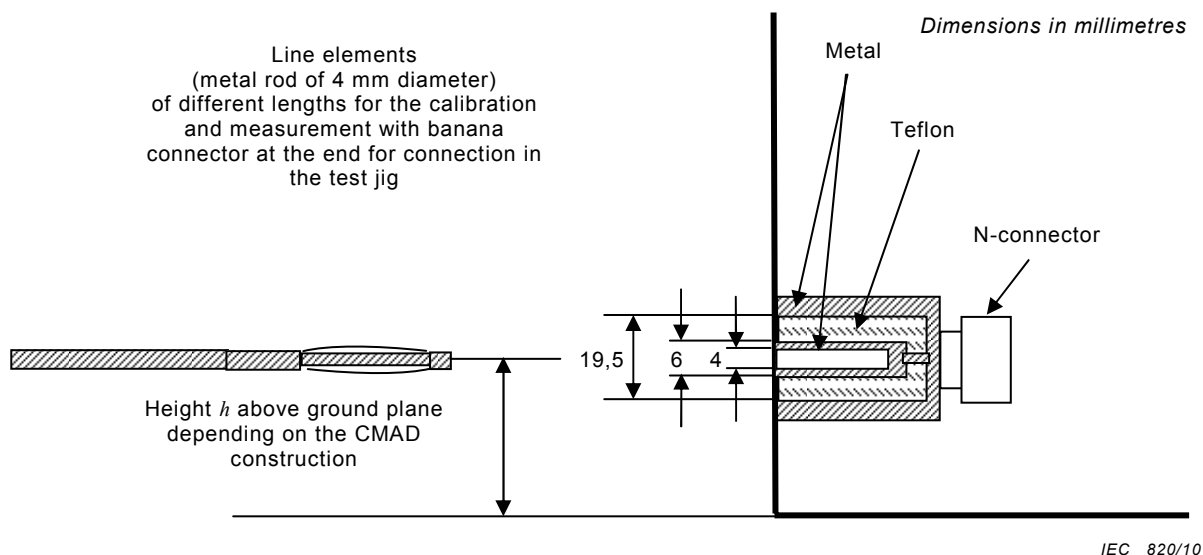
9.6 CMAD performance (degradation) check using spectrum analyzer and tracking generator

The complex S -parameters of a CMAD cannot be measured without using a VNA. However, VNA instruments may not be available in all EMC test laboratories. For laboratories that do not have access to VNA instruments, a simpler method to check the functioning of a CMAD is defined in this subclause, using a spectrum analyzer with tracking generator. This instrumentation set-up measures only the magnitude of the insertion loss, but this measured

value will not be directly related to the S -parameters measured at the reference planes shown in Figure 23. Nonetheless, an EMC laboratory can periodically repeat the same insertion loss measurement with their in-house test set-up, using the exact same conditions (impedance and geometry of the test set-up), and record and compare the history of the results to decide whether the CMAD is still in acceptable condition. Degradation of CMAD performance can be detected in this way. If some degradation becomes apparent, a reference measurement shall be performed using a VNA with the TRL calibration method of 9.4.

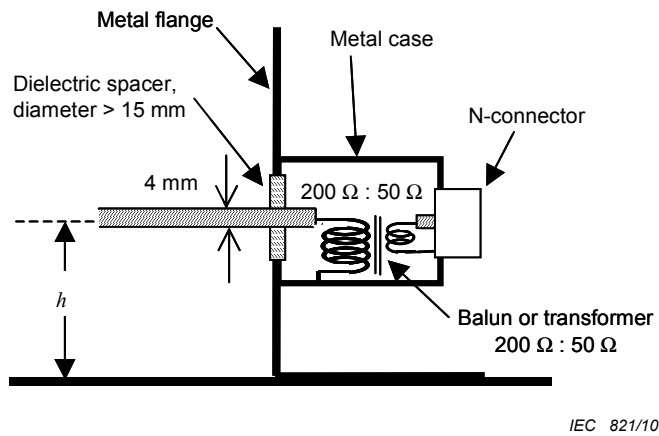
Any adaptor construction (Figures 23 and 24, Figures 26 to 28) can be used for this performance/degradation check. To avoid resonance effects in cables between test jig and measurement instrument, it is necessary to include two 10 dB attenuators close to the test jig connection during this performance check.

- a) When 50 Ω adaptors are used (Figure 26), the insertion loss measurement for the performance/degradation check is the difference in dB between attenuation measurements for the following two configurations:
 - 1) configuration 1: direct connection of the two attenuators without the test jig;
 - 2) configuration 2: the two attenuators connected to the test jig with the CMAD included.
- b) If matching adaptors (Figure 27 or Figure 28) are used, the insertion loss measurement for the degradation check is the difference between the attenuation measured for the following two configurations:
 - 1) configuration 1: the two attenuators connected to the test jig without the CMAD (empty jig);
 - 2) configuration 2: the two attenuators connected to the test jig with the CMAD included.



NOTE The bottom sides of the vertical flange are electrically bonded to the metallic ground plane.

Figure 26 – Example of a 50 Ω adaptor construction in the vertical flange of the jig



NOTE If the centre tap of the balanced port is connected to the balun case, it should be disconnected.

Figure 27 – Example of a matching adaptor with balun or transformer

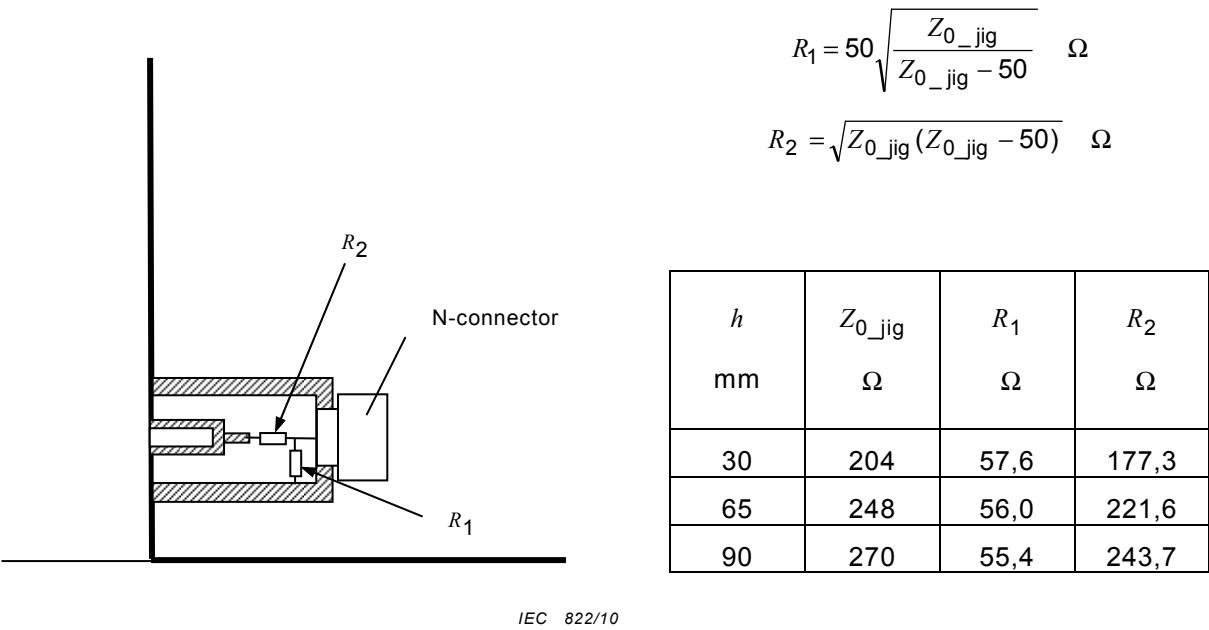


Figure 28 – Example of a matching adaptor with resistive matching network

Annex A (normative)

Parameters of antennas

A.1 General

Various CISPR publications specify particular antennas to be used in making measurements. Other types of antennas can be used provided the results are equivalent to those obtained with the specified antenna. The comparison of these antennas to the specified antennas will be aided by listing appropriate parameters. These parameters shall be specified as part of any CISPR acceptance of a new antenna type. Antenna manufacturers shall also use this information as guidance in specifying the most useful aspects of antennas used for radiated emissions measurements. Manufacturers are recommended to supply generic information on each antenna model including the following parameters: free-space antenna factor into a 50 Ω system, return loss, radiation patterns at sufficient frequency intervals to indicate significant changes (which include beamwidth information), and frequency dependent uncertainty values to account for the deviation from free-space antenna factor caused by mutual coupling to a ground plane when the antenna is scanned in height between 1 m and 4 m.

A.2 Preferred antennas

A.2.1 General

If there is an alleged non-compliance to the *E*-field limit, the value measured by a low-uncertainty antenna is preferred. A low-uncertainty antenna is one with which the field strength on a CISPR test set-up can be measured with a lower uncertainty than is required for other antennas that meets the field strength accuracy criterion of 4.2. The low-uncertainty antennas are described in A.2.3.

A.2.2 Calculable antenna

The calculable standard dipole antenna achieves the lowest uncertainty for *E*-field measurements. The antenna factor can be calculated for free-space and at any height and polarization above a well-defined ground plane. The principle of the calculable standard dipole is described in CISPR 16-1-5, in which only the resonant condition is described. However, using widely available numerical electromagnetic modelling, the antenna factor for a single dipole length can be calculated over a broad frequency band with uncertainties less than $\pm 0,3$ dB. For example, for a measurement at 30 MHz, the dipole that is resonant at 80 MHz can be used. The principle can be extended to multi-wire antennas, which cover an even broader bandwidth.

A.2.3 Low-uncertainty antennas

Low-uncertainty antennas are the biconical and LPDA antennas, whose basic parameters are described in the next paragraph. They are broadband and have reasonable sensitivity, i.e. their antenna factors are not too high. Calculable dipoles can be used and potentially have the lowest uncertainty. The cross-polar response shall meet requirements in 4.5.5 and any balun shall meet the requirements indicated in 4.5.4. The antenna factor shall be determined by a calibration laboratory that provides traceability to national standards, and is selected to minimize the uncertainty of antenna factor determination.

Approved types are the biconical antenna used over the frequency range 30 MHz to 250 MHz and the LPDA antenna over the range 250 MHz to 1 GHz. The reasons for this cross-over frequency are that the LPDA antenna has a phase centre error due to its length, which is reduced by starting at 250 MHz, and most biconical antennas are affected by a resonance

above 290 MHz, and exhibit radiation pattern distortion above 260 MHz, unless the open structure elements (portable or collapsible) are used. The cross over frequency between biconical and LPDA antennas can be between 200 MHz and 250 MHz, with a slight increase in phase centre uncertainties associated with LPDA antennas below 250 MHz. The hybrid antenna, which covers the whole frequency band 30 MHz to 1 000 MHz, is not a preferred type because the uncertainties are higher than for biconical and LPDA antennas, mainly because of the greater length of the antenna, especially when used at a distance of 3 m from the source (as opposed to 10 m).

The low-uncertainty biconical antenna has a an element tip-to-tip length of approximately $1,35 \text{ m} \pm 0,03 \text{ m}$ (depending on balun width), six wire elements emanating in a cone shape, with a broadest diameter of approximately 0,52 m. The balun shall be a 200 Ω design (200 Ω to 50 Ω transformer ratio), which ensures better sensitivity at 30 MHz, and lower mutual coupling with the environment.

NOTE The biconical antenna is based on the original shown in MIL STD 461A [8] , designed to operate from 20 MHz to 200 MHz. The collapsible element version gives better performance than the closed "cage" element version above 250 MHz.

The low-uncertainty LPDA is designed to have a lowest frequency of 200 MHz (i.e. the longest element is resonant at 200 MHz, approximately 0,75 m) and a length of $0,75 \text{ m} \pm 0,12 \text{ m}$, between the longest and shortest elements, the latter being resonant above 1 GHz. The reason for not having the longest element at 250 MHz is that it is not bounded by an array and the radiation pattern is distorted. The antenna length of 0,75 m distinguishes it from antennas of twice the length that achieve a higher gain but will have a greater phase centre error, and antennas of less than 0,6 m in length that are not likely to have an antenna factor that increases smoothly and monotonically with frequency (with any sharp rises in antenna factor deviating by no more than 1,5 dB from a regression line across the whole frequency range).

A.3 Simple dipole antennas

A.3.1 General

If a laboratory is not able to get an antenna calibrated, an alternative is to use a dipole antenna, either in the form of a calculable dipole or a tuned dipole. A tuned dipole is relatively simple to construct and gives a low uncertainty for field strength measurement comparable to the antennas described in Cause A.2. The antenna factors of a tuned dipole shall be verified either by a laboratory that provides traceability to national standards and tries to minimise the uncertainty of antenna factor determination, or by measuring the site insertion loss between a pair of similar dipoles above a ground plane (that conforms to Annex D) and comparing it with the calculated coupling, allowing for the loss of the baluns - see Annex C of CISPR 16-1-5. A drawback of the tuned dipole is its long length at the lower end of the frequency range, for example it is 4,8 m long at 30 MHz, which at a measurement distance of 3 m will result in errors caused by amplitude and phase gradients. Also a dipole is most sensitive to its surroundings when it is tuned, so that the mutual impedance with its image in the ground plane can change the antenna factor by up to 6 dB for a horizontally polarized 30 MHz dipole scanned in height from 1 m to 4 m above a ground plane. For this reason, a shortened dipole tuned to 80 MHz is recommended for use below 80 MHz.

A.3.2 Tuned dipole

A practical and simple design of a tuned dipole comprises a half-wavelength-resonant dipole with a series-parallel coaxial stub balun. The tip-to-tip dipole lengths are approximately 0,48 wavelengths, depending on the radius of the dipole element. Free-space antenna factors can be computed from the following equation, which gives the factor in decibels. This does not include the balun loss, for which an averaged value of 0,5 dB can be added to the antenna factor, and this loss factor shall be verified.

$$F_a(\text{dB}) = 20 \log(f_M) - 31,4$$

where f_M is the frequency in MHz.

Because the tuned dipole is more sensitive to its surroundings than a broadband antenna (except at its resonant frequency, excluding LPDAs) it is unlikely that the overall uncertainty in the use of a tuned dipole will be less than that of the low-uncertainty antennas of 4.5.2.

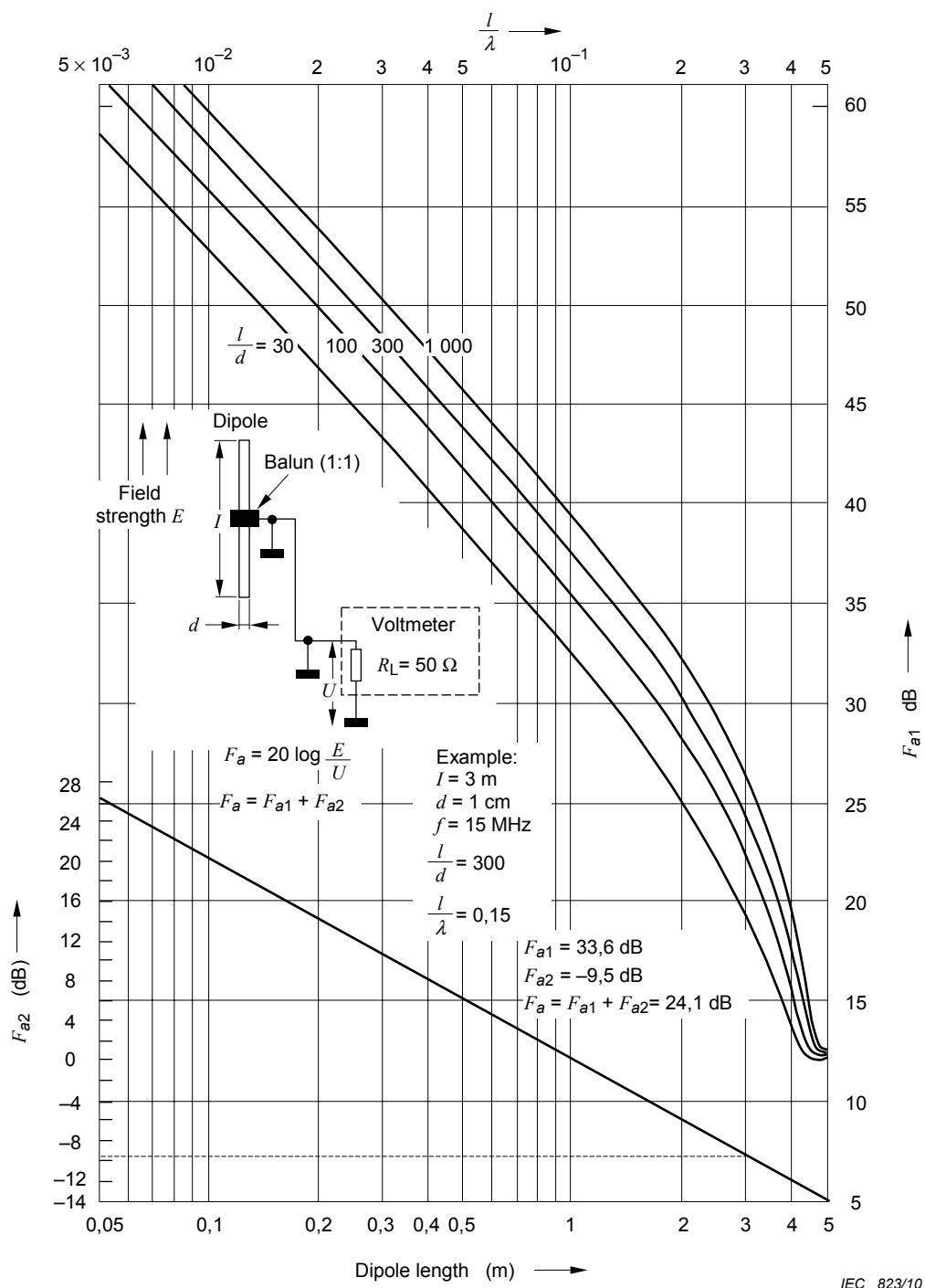
A.3.3 Shortened dipole

A dipole shorter than one half-wavelength may be used provided:

- a) the total length is greater than $1/10$ -wavelength at the frequency of measurement;
- b) it is connected to a cable sufficiently well matched at the receiver end to ensure a return loss at the cable input of greater than 10 dB. The calibration shall take account of the return loss;
- c) it has a polarization discrimination equivalent to that of a tuned dipole (see 4.5.3). To obtain this, a balun may be helpful;
- d) for determination of the measured field strength, a calibration curve (antenna factor) is determined and used in the measuring distance (i.e. at a distance of at least three times the length of the dipole);

NOTE The antenna factors thus obtained should make it possible to fulfil the requirement of measuring uniform sine-wave fields with an accuracy not worse than ± 3 dB. Examples of calibration curves are given in Figure A.1, which shows the theoretical relation between field strength and receiver input voltage for a receiver with input impedance of $50\ \Omega$, and for various l/d ratios. In this figure, the balun is considered as an ideal 1:1 transformer. It should be noted, however, that these curves do not account for the losses of the balun, the cable, and any mismatch between the cable and the receiver.

- e) in spite of the sensitivity loss of the field-strength meter due to a high antenna factor attributed to the shortened length of the dipole, the measuring limit of the field-strength meter (determined for example by the noise of the receiver and the transmission factor of the dipole) shall remain at least 10 dB below the level of the measured signal.



NOTE See Note in A.3.3 item d).

Figure A.1 – Short dipole antenna factors for $R_L = 50 \Omega$

A.4 Broadband antenna parameters

A.4.1 General

Broadband antennas used for CISPR measurements are those antennas that are linearly polarized and are intended for use over a wide frequency range. This does not prevent the use of antennas with limited length adjustment or the addition of antenna element sections. The input impedance of such antennas typically is a complex quantity. Other parameters that can be specified are described below.

A.4.2 Antenna type

A.4.2.1 General

The following subclauses describe the physical parameters of broadband antennas that should be provided. Note that some parameters may not apply to every antenna.

A.4.2.2 Antenna style of fixed or variable length or diameter

If the antenna has a variable length, specify the number of sections that are added or subtracted to change the basic fixed length.

NOTE Fully-tunable antennas are not considered to be broadband and hence would not be specified herein. The diameter of a loop antenna is generally not variable.

A.4.2.3 Depth to width ratio or loop diameter

Provide dimension in metres. For a log periodic array, for example, the length of the boom along the measurement axis and the width of the largest element would be provided.

A.4.2.4 Active or passive antenna

A broadband antenna is considered an active antenna if it contains amplifiers, preamplifiers, and other non-linear active devices which amplify the signal and/or shape the frequency response.

A.4.2.5 Mounting arrangement

Provide any special mounting requirements beyond those that can be accommodated by a typical tripod or antenna positioner.

A.4.2.6 Connector type

Specify BNC, N, SMA, etc. as appropriate. Specify the pin depth tolerance and state that it should be verified with a pin-depth gauge.

A.4.2.7 Balun type

Specify if the balun is discrete, distributed, tunable, etc. Specify the balun transformer ratio.

A.4.3 Specification of the antenna

A.4.3.1 Frequency range

Specify the frequency range in megahertz or kilohertz where the antenna operates within its characteristics. If there is a defined fall-off characteristic in decibels per octave at either end of the range, so specify.

A.4.3.2 Gain and antenna factor**A.4.3.2.1 Gain**

Specify typical or actual gain in decibels relative to an isotropic radiator (dBi).

A.4.3.2.2 Antenna factor

Specify typical or actual antenna factor in decibels per metre. Antenna calibration procedures are under consideration (see also A.4.4), and are being prepared for CISPR 16-1-5.

Both gain and antenna factor should be measured using the calibration procedure in A.4.4.

A.4.3.3 Directivity and pattern for linear polarisation

Specify antenna pattern and directivity in degrees with a polar plot in both the *E*- and *H*-planes at a sufficient number of frequencies that show any significant change with frequency. For antennas with relatively low directivity (e.g. less than 6 dBi), specify the front-to-back ratio in decibels. If omnidirectional, for example having a Hertzian dipole pattern, so state.

A.4.3.4 VSWR and impedance

Indicate the minimum return loss and nominal input impedance in ohms. Additionally, the minimum return loss can be expressed as maximum VSWR.

A.4.3.5 Active antenna performance

For antennas with active amplified gain, specify the intermodulation product levels, the electric and magnetic field strength immunity level from outside disturbances, and any appropriate check to determine overload or improper operation.

A.4.3.6 Power handling

For immunity testing transmit use, specify maximum and transient power handling capability, in watts.

A.4.3.7 Other conditions

Specify the temperature and humidity range in which the antenna is operated, and any precautions if used in an unprotected area exposed to the weather.

A.4.4 Antenna calibration**A.4.4.1 Method of calibration for emission measurements**

Identify the method used for calibration, i.e.:

- a) calculated (indicate formula used);
- b) measured (specify the method or standard used, or the traceability to a national calibration laboratory, and whether antennas are calibrated individually).

NOTE For immunity measurements, field strength calibrations are generally made using a calibrated receiving antenna or a field probe located at the position of the EUT being subjected to the radiation. Hence, calibrations are not required for the transmit antenna.

A.4.4.2 Frequency interval

Indicate the frequencies in megahertz or kilohertz used during the calibration process; if a swept frequency procedure is used, so state.

A.4.4.3 Accuracy of calibration

Specify the uncertainty of the calibration in $\pm$ decibels. Indicate the worst case uncertainty, and the portion of the frequency band where that occurs.

A.4.4.4 Correlation with preferred or specified antennas

If the antenna is to be substituted for (used in place of) a preferred or specified antenna cited in a CISPR publication, indicate all correlation factors in decibels to equate the broadband antenna results to those of the preferred or specified antenna. Also indicate any conversion factor used, e.g. to convert from magnetic field intensity or vice versa, or for any other conversion to a measurement unit other than a field strength quantity.

A.4.4.5 Units

Specify calibration in units that are necessary to make magnetic or *E*-field strength emission measurements.

A.4.5 Antenna user information

A.4.5.1 Antenna use

Provide a description of the use of the antenna. Ensure that any special precautions or limitations are cited to reduce the chance of misuse.

A.4.5.2 Physical limitations

Indicate if there are any physical limitations in using the antenna such as the following:

- a) minimum height above the ground plane;
- b) preferred polarization with respect to the ground plane;
- c) special use, i.e. use as a receive antenna or a transmit antenna only. Normally, this is limited to the power-handling capability of the balun for passive antennas, or the non-bidirectional characteristics for active antennas. State if power handling is limited by arcing across non-welded antenna element connections;
- d) simple ohmic check to determine continuity integrity of antenna;
- e) minimum separation of the closest antenna element to the EUT being measured.

Annex B (normative)

Monopole (1 m rod) antenna performance equations and characterization of the associated antenna matching network

B.1 Description

B.1.1 Introduction of the monopole (1 m rod) antenna system

Monopole (rod) antennas are typically used at frequencies below 30 MHz, but are sometimes used at higher frequencies. Because of the long wavelength associated with the low frequency range, methods used to calibrate or characterize antennas at higher frequencies are not applicable. The techniques defined in this annex are applicable for frequencies up to 30 MHz. Using due care, this method has been used commercially with small (less than 1 dB) error.

NOTE This annex is based on [12].

The primary method for traceability of antenna factor to national standards is to illuminate the whole antenna by a plane wave. An alternative method, capacitor substitution of the monopole element, is contained in this annex. Although it is possible to determine the antenna factor by the capacitor substitution method, it requires expert knowledge to achieve the true antenna factor to within ± 1 dB during the actual calibration process. This is especially the case when designing jigs for types of antenna whose monopole element is not attachable by a coaxial connector. Finally, care in the use of the capacitor substitution method is required especially at frequencies above 10 MHz, and for active antennas.

B.1.2 Monopole (rod) antenna performance equations

The following equations are used to determine the effective height, self-capacitance and height correction factor of rod or monopole antennas of unusual dimensions.

The equations are valid only for cylindrical rod antennas shorter than $\lambda/8$ [9].

$$h_e = \frac{\lambda}{2\pi} \tan\left(\frac{\pi h}{\lambda}\right) \quad (\text{B.1})$$

$$C_a = \frac{55,6h}{\ln(2h/a) - 1} \times \frac{\tan(2\pi h/\lambda)}{(2\pi h/\lambda)} \quad (\text{B.2})$$

$$C_h = 20 \log(h_e) \quad (\text{B.3})$$

where

- h_e is the effective height of the antenna (m);
- h is the actual height of the rod element (m);
- λ is the wavelength (m);
- C_a is the self-capacitance of the rod antenna (pF);
- a is the radius of the rod element (m);
- C_h is the height correction factor (dBm).

Other details concerning Equation (B.1) are available in [12], [13], [14], and for Equation (B.2) in [14], [15], [16], [17], [18],[19].

B.2 Matching network characterization method

B.2.1 General

The equivalent capacitance substitution method uses a dummy antenna in place of the actual rod element. The primary component of the dummy antenna is a capacitor equal to the self-capacitance of the rod or monopole. This dummy antenna is fed by a signal source and the output from the matching network or base unit of the antenna is measured using the test configuration shown in Figure B.1. The antenna factor, F_a , in dB(1/m), is given by Equation (B.4).

$$F_a = V_D - V_L - C_h \quad (\text{B.4})$$

where

V_D is the measured output of the signal generator [dB(μV)];

V_L is the measured output of the matching network [dB(μV)];

C_h is the height correction factor (for the effective height) [dB(m)].

For the monopole (1 m rod) antenna commonly used in EMC measurements, the effective height (h_e) is 0,5 m, the height correction factor (C_h) is –6 dBm and the self-capacitance (C_a) is 10 pF.

NOTE See B.1.2 to calculate the effective height, height correction factor and self-capacitance of rod antennas of unusual dimensions.

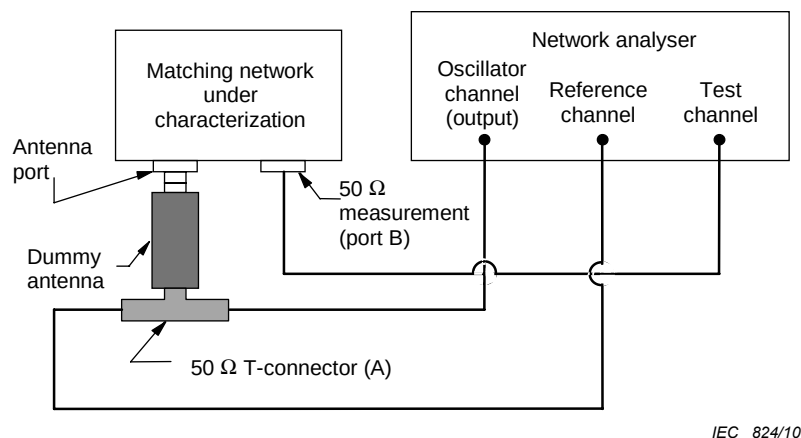
Either of two procedures shall be used: the method of B.2.2, the network analyzer, or the method of B.2.3, the signal generator and radio-noise meter method. The same dummy antenna is used in both procedures. See Clause B.3 for guidance in making a dummy antenna. Measurements shall be made at a sufficient number of frequencies to obtain a smooth curve of antenna factor versus frequency over the operating range of the antenna, or 9 kHz to 30 MHz, whichever is smaller.

B.2.2 Network analyzer procedure

The network analyzer method for characterizing an antenna matching network is described in this subclause.

- Calibrate the network analyzer with the cables to be used in the measurements.
- Set up the matching network to be characterized and the measuring equipment as shown in Figure B.1.
- Subtract the signal level [in dB(μV)] in the test channel from the signal level [in dB(μV)] in the reference channel and subtract C_h (i.e. –6 dB for a 1 m rod) to obtain the antenna factor [in dB(1/m)].

NOTE Attenuator pads are not needed with the network analyzer because the impedances of the channels in the network analyzer are very nearly 50 Ω, and any errors are corrected during network analyzer calibration. Attenuator pads may be used, if desired, but including them complicates the network analyzer calibration.



NOTE 1 Place the dummy antenna as close to the EUT port as possible. Place the T-connector as close to the dummy antenna as possible. Use the same length and type of cables between the T-connector and the reference channel input, and the T-connector and the 50 Ω measuring port test channel.

NOTE 2 Attenuator pads are not needed with a network analyzer and are not recommended.

Figure B.1 – Method using network analyzer

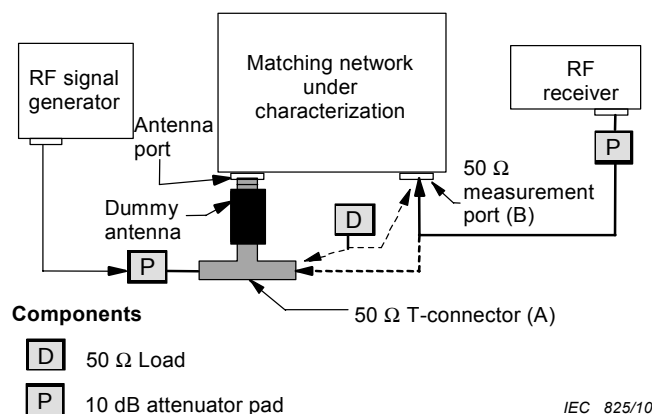
B.2.3 Measuring receiver and signal generator procedure

This subclause describes the method for characterizing a matching network using a measuring receiver and a signal generator.

- Set up the matching network to be characterized and the measuring equipment as shown in Figure B.2.
- With the equipment connected as shown and a 50 Ω termination on the T-connector (A), measure the received signal voltage V_L [in dB(μV)] at the RF port (B).
- Leaving the RF output of the signal generator unchanged, transfer the 50 Ω termination to the RF port (B) and transfer the receiver input cable to the T-connector (A). Measure the drive signal voltage V_D [in dB(μV)].
- Subtract V_L from V_D , and subtract C_h (i.e. –6 dB for a 1 m rod) to obtain the antenna factor [in dB(1/m)].

The 50 Ω termination shall have a very low standing-wave ratio (SWR, less than 1,05:1). The radio-noise meter shall be calibrated and have a low SWR (less than 2:1). The output of the signal generator shall be frequency and amplitude stable.

NOTE The signal generator need not be calibrated, because it is used as a transfer standard.



NOTE 1 Place the dummy antenna as close to the EUT port as possible. Place the T-connector as close to the dummy antenna as possible.

NOTE 2 If the VSWR of receiver and signal generator is low, pads may not be needed or may be reduced to 6 dB or 3 dB.

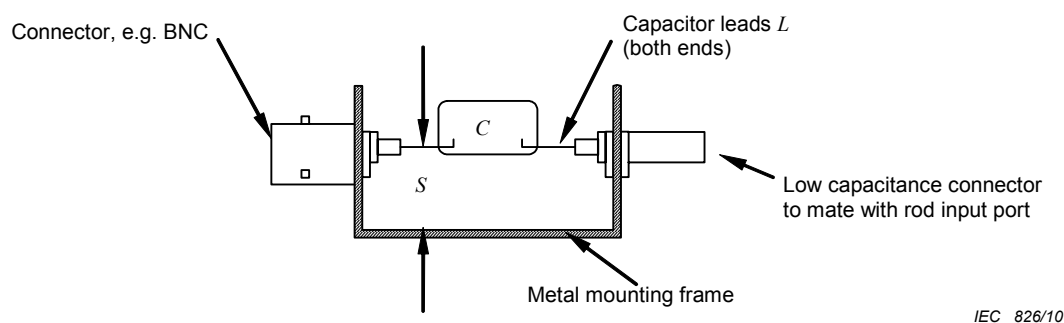
NOTE 3 The dummy antenna may incorporate other matching components to control VSWR at its input and signal generator level at measuring ports.

Figure B.2 – Method using measuring receiver and signal generator

B.3 Dummy antenna considerations

The capacitor used as the dummy (simulated) antenna shall be mounted in a small metal box or on a small metal frame. The leads shall be kept as short as possible, but no longer than 8 mm, and spaced 5 mm to 10 mm from the surface of the metal box or frame. See Figure B.3.

The T-connector used in the antenna factor measurement set-up may be built into the dummy antenna box. The resistor pad to provide impedance matching to the generator may also be built into the dummy antenna box.



Components

C antenna capacitance (C_a) calculated from Equation (B.2), 5 % tolerance, silver mica

S lead spacing, 5 mm to 10 mm (10 mm from all surfaces if enclosed in a box)

L lead length, as short as possible but not greater than 8 mm (total lead length not greater than 40 mm, including both capacitor leads and length of rod port connector)

Figure B.3 – Example of capacitor mounting in dummy antenna

B.4 Application of the monopole (rod) antenna

A monopole rod antenna is typically designed to be used with a counterpoise or to be mounted on a ground plane. To obtain correct field strength values, the manufacturer's instructions or recommendations regarding the use of the counterpoise or ground plane should be followed.

If the antenna uses a telescoping rod element, the element shall be extended to the length specified in the manufacturer's instructions.

Many measurement standards specify that the counterpoise of a monopole (rod) antenna shall be bonded to the ground plane or test-bench ground plane. The requirements of the measurement standard shall be met.

Annex C (normative)

Loop antenna system for magnetic field induced-current measurements in the frequency range of 9 kHz to 30 MHz

C.1 General

This annex sets forth information and data concerning the loop antenna system (LAS) to measure the current induced in the LAS by the magnetic field emitted by a single EUT, positioned in the centre of the LAS, in the frequency range of 9 kHz to 30 MHz. Subclause 4.7 of this publication, and CISPR 16-2-3, refer to this LAS. See also [11].

A description of the LAS is given, as well as the method of validation of the antennas of the LAS. Conversion factors are given to relate magnetic field induced current data to magnetic field data that would have been obtained when the same EUT was measured using a single-loop magnetic field antenna positioned at a specified distance from that EUT.

C.2 Construction of the loop antenna system (LAS)

The LAS (see Figure C.1) consists of three mutually perpendicular large-loop antennas (LLAs), described in Clause C.3. The entire LAS is supported by a non-metallic base.

A 50 Ω coaxial cable between the current probe of an LLA and the coaxial switch, and between this switch and the measuring equipment, shall have a surface transfer impedance smaller than 10 m Ω /m at 100 kHz and 1 m Ω /m at 10 MHz. This requirement is met when using, for example, double-braided shield RG 223/U coaxial cable.

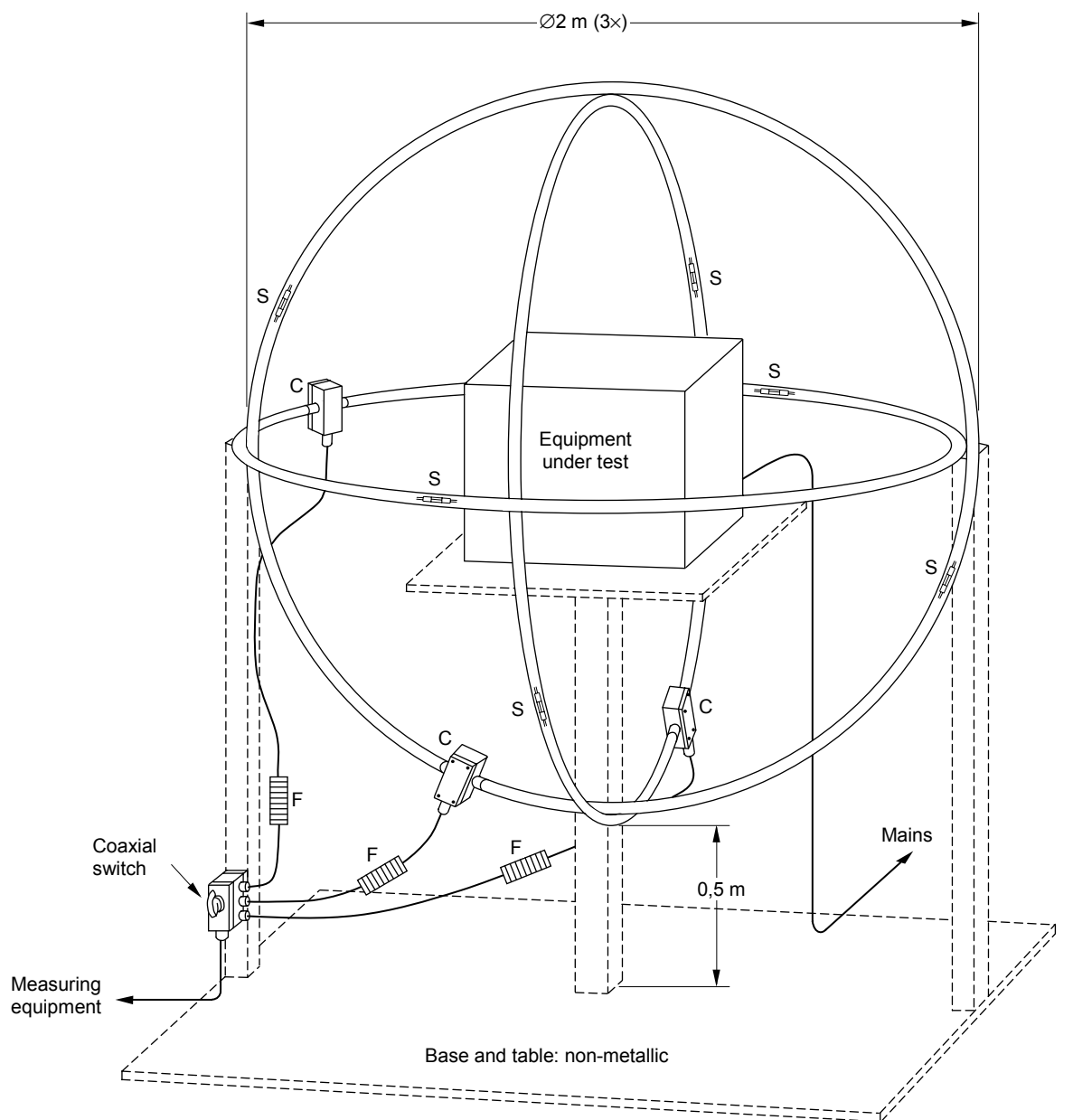
All connectors shall have surface transfer impedance comparable with that of the coaxial cable. This requirement is met, for example, when using good quality BNC collet-lock type connectors (see [1]).

All cables shall be equipped with ferrite absorbers, F in Figure C.1, providing a common-mode series resistance of $R_s > 100 \Omega$ at 10 MHz. This requirement is met when constructing the ferrite toroid from, for example, twelve rings of type 3E1 from Ferroxcube (minimum size: 29 mm outer diameter by 19 mm inner diameter by 7,5 mm height).

C.3 Construction of a large-loop antenna (LLA)

A large-loop antenna (LLA) of the LAS is constructed from coaxial cable of which the surface transfer impedance has been specified in Clause C.2. In addition, the resistance of the inner conductor of the LLA shall be sufficiently low (see Note 1). Both requirements are met, for example, when using double-braided shield RG 223/U coaxial cable.

To keep the loop in its circular shape and to protect the slit construction, as in the example of Figure C.2, the cable is inserted in a thin walled non-metallic tube with inner diameter of approximately 25 mm. Other non-metallic constructions serving the same purposes may be used.



Components

S antenna slit

C current probe

F ferrite absorber

Figure C.1 – The loop-antenna system, consisting of three mutually perpendicular large-loop antennas

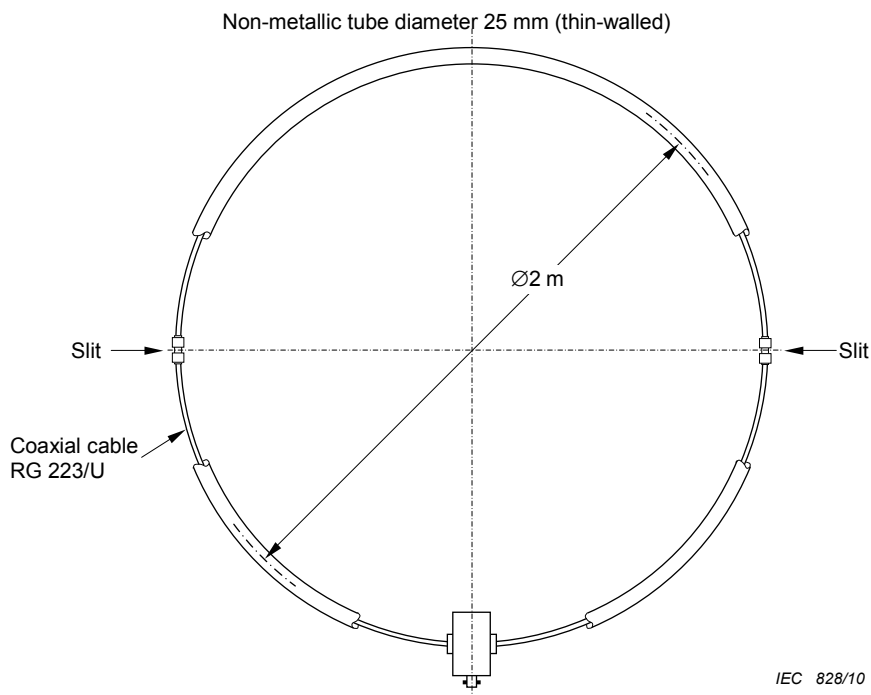


Figure C.2 – A large-loop antenna containing two opposite slits, positioned symmetrically with respect to the current probe C

The loop diameter has been standardized to be $D = 2$ m. If necessary, e.g. the case of large EUT, D may be increased. However, in the frequency range up to 30 MHz, the maximum allowable diameter is 4 m. Further increase of the diameter would result in non-reproducible resonances of the LAS response at the high-frequency end of the measuring range.

It should be noted that by increasing the diameter, its sensitivity to ambient noise increases proportionally to the diameter, and its sensitivity to wanted signals is inversely proportional with the diameter squared.

An LLA contains two opposite slits, positioned symmetrically with respect to the current probe of the LLA (see Figure C.2). Such a slit, made in the outer conductor of the coaxial antenna cable as shown in Figure C.3, shall have a width of less than 7 mm. The slit is bridged by two parallel sets of $100\ \Omega$ resistors in series. The centre of each series circuit is connected to the inner conductor of the coaxial antenna cable.

At each side of the slit, the outer conductor of the coaxial antenna cable may be bonded to a strap of printed circuit board material with two copper rectangles, separated by at least 5 mm, in order to obtain a rigid slit construction (see Figure C.4).

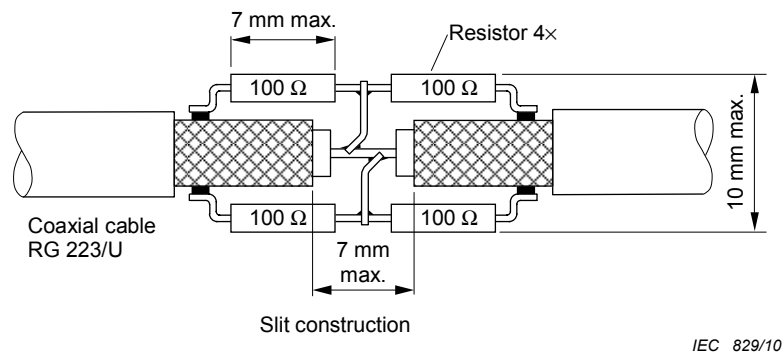


Figure C.3 – Construction of the antenna slit

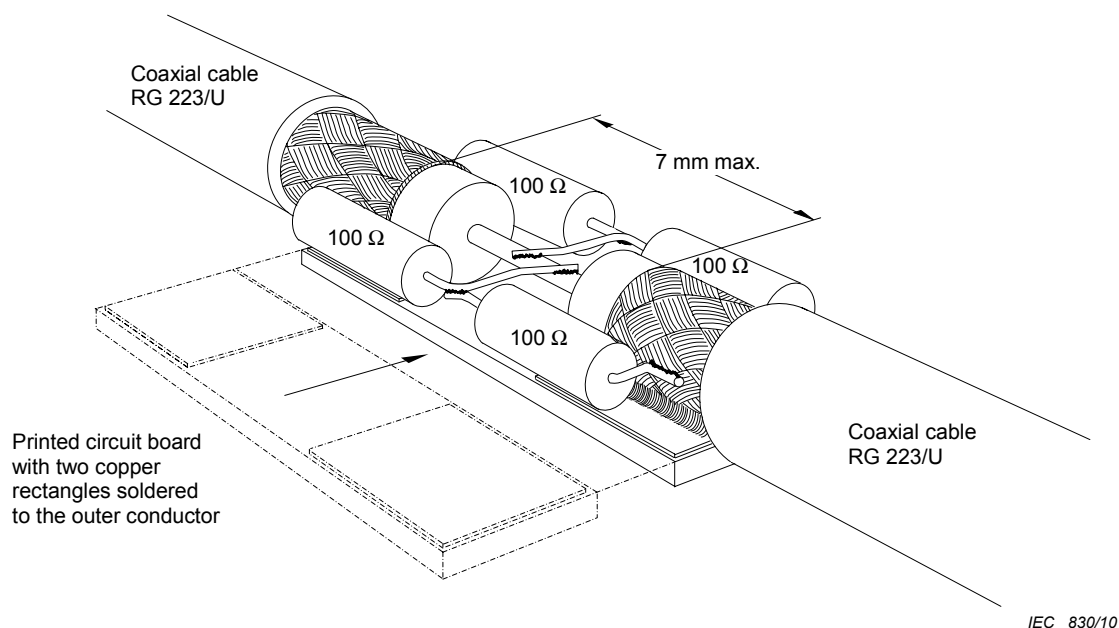


Figure C.4 – Example of antenna-slit construction using a strap of printed circuit board to obtain a rigid construction

The current probe around the inner conductor of the coaxial antenna-cable shall have a sensitivity of 1 V/A over the frequency range of 9 kHz to 30 MHz. The insertion loss of the current probe shall be sufficiently low (see Note 1).

The outer conductor of that cable shall be bonded to the metal box containing the current probe (see Figure C.5). The maximum dimensions of this box are the following: width 80 mm, length 120 mm and height 80 mm.

NOTE 1 To obtain a flat frequency response of the LLA at the lower end of the frequency range of 9 kHz to 30 MHz, the insertion loss R_c , of the current probe should be much smaller than $2\pi f L_c$ at $f = 9$ kHz, where L_c represents the inductance of the current probe. In addition, $(R_c + R_i) \ll X_i = 2\pi f L$ at 9 kHz, where R_i is the resistance of the inner conductor of the loop and L is the loop inductance. This inductance is about 1,5 $\mu\text{H}/\text{m}$ of circumference, hence for the standardized LLA, $X_i \approx 0,5 \Omega$ at $f = 9$ kHz.

NOTE 2 To avoid unwanted capacitive coupling between the EUT and the LAS, the distance between the EUT and components of the LLA should be at least 0,10 times the loop diameter. Particular attention should be paid to the leads of an EUT. Cables should be routed together and leave the loop volume in the same octant of the cell, no closer than 0,4 m to any of the LAS loops (see Figure C.6).

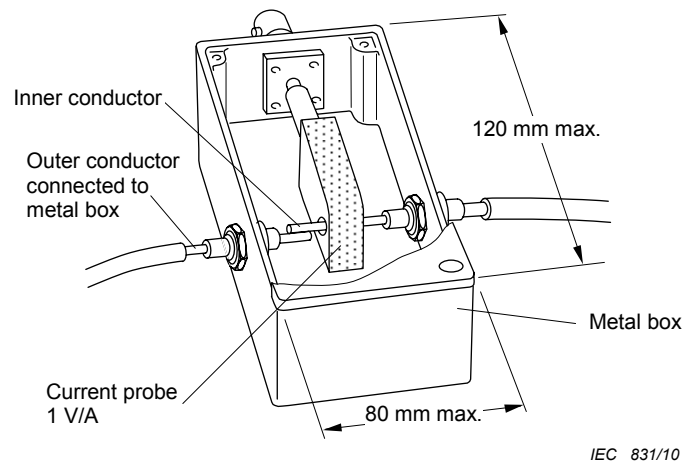


Figure C.5 – Construction for the metal box containing the current probe

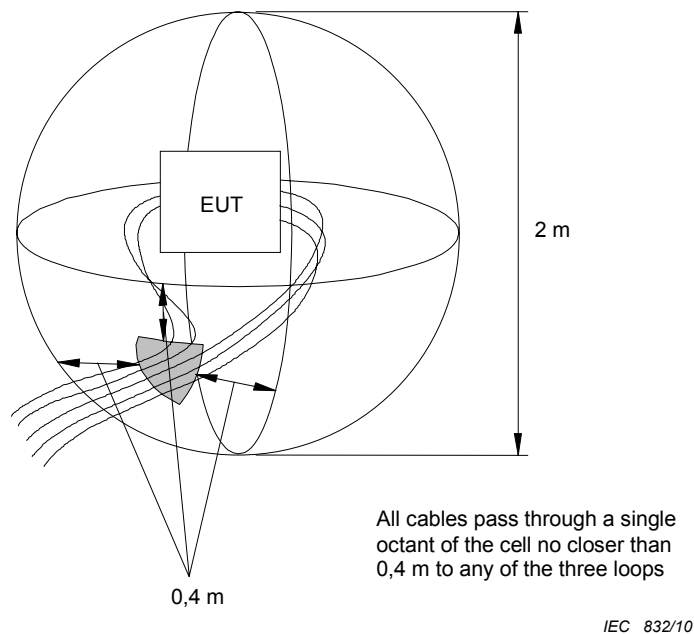


Figure C.6 – Example showing the routing of several cables from an EUT to ensure that there is no capacitive coupling from the leads to the loop

C.4 Validation of a large-loop antenna (LLA)

The validation and calibration of a large-loop antenna (LLA) of the loop antenna system is carried out by measuring the current induced in the LLA by the balun-dipole connected to a 50 Ω RF generator, described in Clause C.5. The magnetic field emitted by that dipole allows verification of the magnetic field sensitivity of the LLA. The *E*-field emitted by the balun-dipole shows that the *E*-field sensitivity of the LLA is sufficiently low.

The induced current shall be measured as a function of frequency in the range of 9 kHz to 30 MHz at the eight positions of the balun-dipole in Figure C.7. During this measurement, the balun dipole is in the plane of the LLA under test.

In each of the eight positions, the validation factor [expressed in $\text{dB}(\Omega) = 20 \log(V_{g0}/I_1)$] of the open circuit voltage of the RF generator (V_{g0}) and the measured current (I_1) shall not deviate more than $\pm 2 \text{ dB}$ from the validation factor given in Figure C.8.

The validation factor given in Figure C.8 is valid for a circular LLA with a standardized diameter $D = 2 \text{ m}$. If the diameter of a circular LLA differs from $D = 2 \text{ m}$, the validation factor for the non-standardized LLA can be derived from the data given in Figure C.8 and Figure C.11 (see Clause C.6).

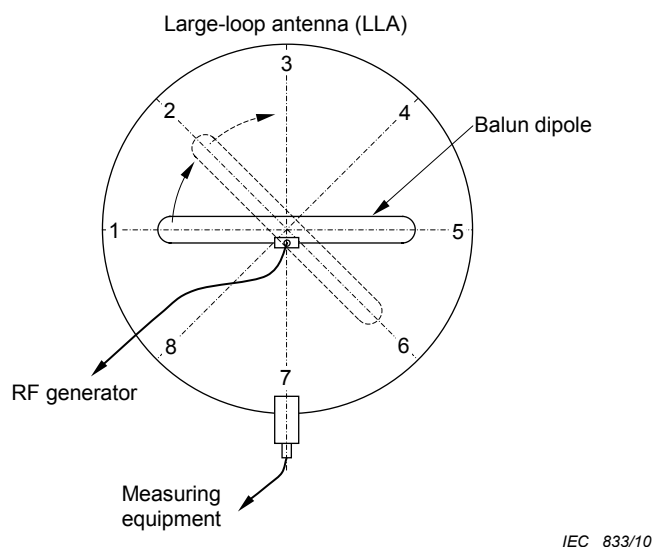


Figure C.7 – The eight positions of the balun-dipole during validation of the large-loop antenna

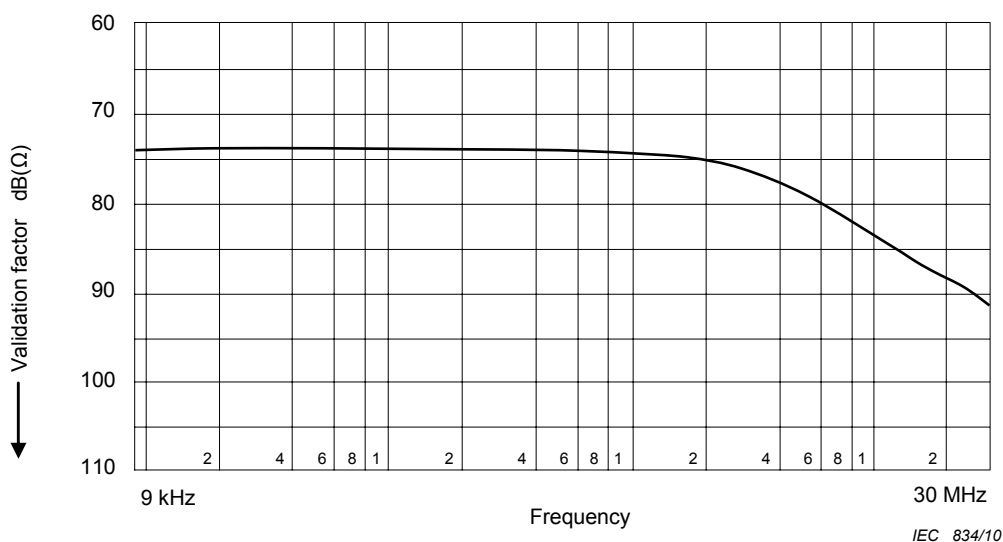


Figure C.8 – Validation factor for a large loop-antenna of 2 m diameter

C.5 Construction of the balun-dipole

The balun-dipole, Figure C.9, has been designed to emit simultaneously a magnetic field, which should be measured by the LLA, and an E -field, which should be rejected by the LLA.

The balun-dipole is constructed from RG 223/U coaxial cable. It has a width $W = 150 \text{ cm}$ and a height $H = 10 \text{ cm}$ (cable centre to cable centre distances), as depicted in Figure C.9.

A slit in the outer conductor of the coaxial cable divides the dipole in two halves. One half of this dipole, the right-hand half in Figure C.9, is short-circuited near the slit as well as near the connector. Short-circuited means that the inner and outer conductors of the coaxial cable are electrically bonded together. This half is connected to the reference-ground of the BNC connector. The inner conductor of the coaxial cable, forming the left-hand half of the dipole in Figure C.9, is connected to the centre-pin of the BNC connector and its outer conductor to the reference ground of that BNC connector.

A small metal box is used to screen the connections near the dipole connector. The outer conductor of the two halves of the coaxial dipole cable are bonded to this box, as is the reference ground of the BNC connector.

To obtain a rigid construction, the dipole is supported by a non-conductive base.

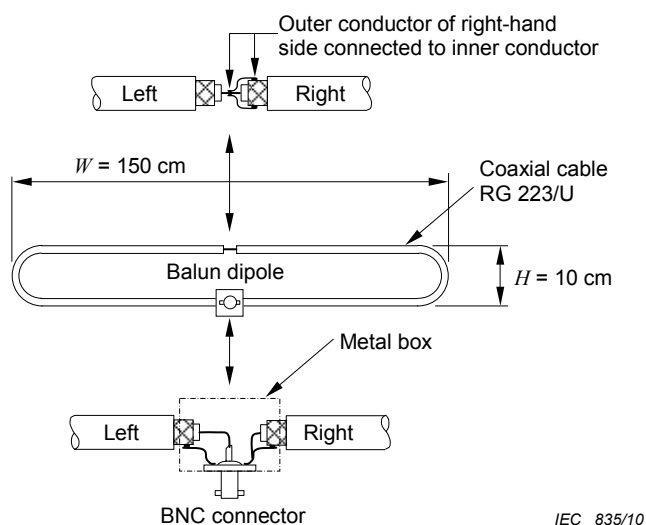


Figure C.9 – Construction of the balun-dipole

C.6 Conversion factors

This clause deals with the factor that converts the current (I) induced in the LLA by the EUT into a magnetic field strength H at a specified distance from the EUT (see Figure C.10). It also deals with the factor which converts the current measured in an LLA with a non-standardized diameter to a current which would have been measured using an LLA with the standardized diameter of $D = 2 \text{ m}$ (see Figure C.11).

The conversion factor in Figure C.10 applies to a source of magnetic field positioned in the centre of the LLA with its dipole moment perpendicular to the plane of that LLA. It should be noted that with the loop antennas specified in 4.3, the loop antenna is always positioned in a vertical plane and the EUT is only rotated around its vertical axis. Hence, in that case only the horizontal dipole moments, i.e. the dipole moments parallel to the ground plane, are measured. Consequently, in the case of a vertical dipole moment, the conversion factor cannot be used to compare results of both measuring methods. However, the factor can be used when in the magnetic field measuring method the loop antenna would be positioned in a horizontal plane, or when in that method the EUT would be tilted through 90° , so that the relevant vertical dipole moment is changed into a horizontal one.

If the actual position of a disturbance source inside an EUT is at a distance less than 0,5 m from the centre of the standardized LAS, the measuring results differ by less than 3 dB from those with that source in the centre.

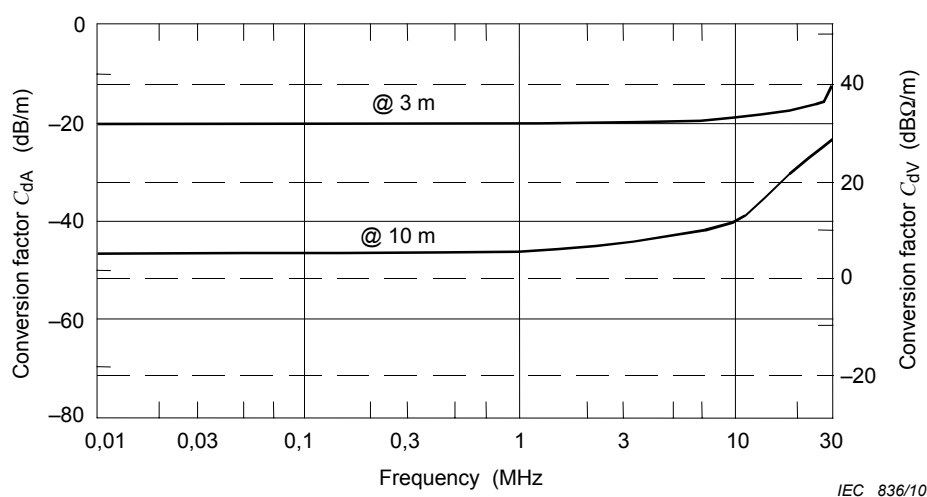


Figure C.10 – Conversion factors C_{dA} [for conversion into dB(μ A/m)] and C_{dV} (for conversion into dB(μ V/m)) for two standardized measuring distances d

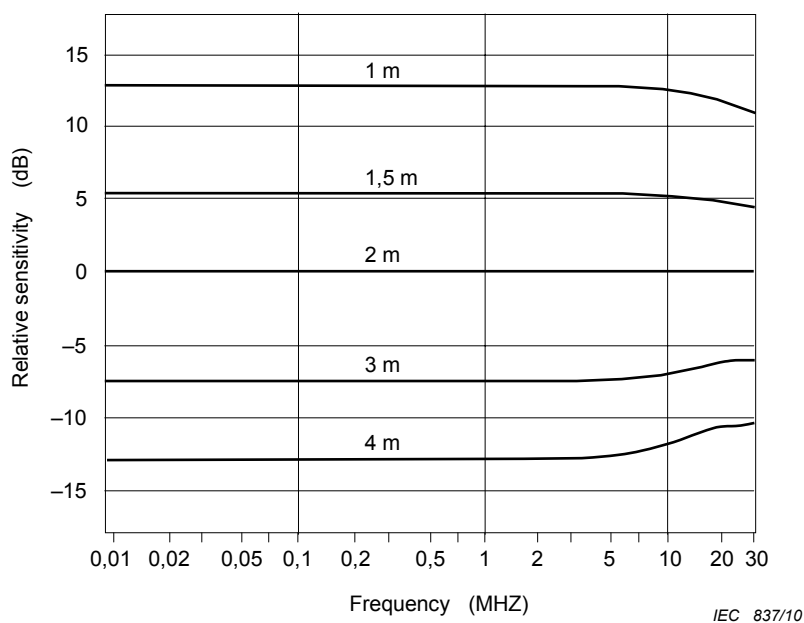


Figure C.11 – Sensitivity S_D of a large-loop antenna with diameter D relative to a large-loop antenna having a diameter of 2 m

The relation between the magnetic field strength H in dB(μ A/m) measured at a distance d and the current I in dB(μ A) is:

$$H = I + C_{dA}$$

where C_{dA} is the current-to-field conversion factor in dB(m⁻¹) for a certain distance d when expressing H in dB(μ A/m); see also the note below.

In general, the conversion factor is frequency-dependent; Figure C.10 presents C_{dA} for standardized distances of 3 m and 10 m. For the standardized distance $d = 30$ m, the conversion factor is under consideration.

The ratio S_D in decibels, of the current measured in a LLA with a diameter D , in metres, and the current which would have been measured with an LLA having the standardized diameter $D = 3$ m, are given in Figure C.11 for several values of D . Using this ratio, the equation given above can be written as:

$$H = I - S_D + C_{dA}$$

where H is expressed in dB(μA/m), I in dB(μA), S_D in dB and C_{dA} in dB(m⁻¹).

NOTE For disturbance calculations, CISPR uses the magnetic field strength H in dB(μA/m) instead of dB(μV/m). In this context, the relation between H expressed in dB(μA/m) and E expressed in dB(μV/m) is given by:

$$E = H + 51,5$$

where E is expressed in dB(μV/m) and H in dB(μA/m). The constant 51,5, in dB(Ω), is explained in the Note in 4.3.2.

For convenience, the conversion factor C_{dV} converting I in dB(μA) into E in dB(μV/m) is also given in Figure C.10.

The following examples explain the use of the three equations above and of Figures C.10 and C.11.

- a) Given: measuring frequency $f = 100$ kHz, loop diameter $D = 2$ m, current in loop $I = X$ dB(μA).

Then using the first equation and Figure C.10, it follows that:

$$\text{at } d = 3 \text{ m: } H [\text{dB}(\mu\text{A}/\text{m})] = X [\text{dB}(\mu\text{A})] + C_{3A} [\text{dB}(\text{m}^{-1})] = (X - 19,5) \text{ dB}(\mu\text{A}/\text{m})$$

$$\text{at } d = 3 \text{ m: } E [\text{dB}(\mu\text{V}/\text{m})] = X [\text{dB}(\mu\text{A})] + C_{3V} [\text{dB}(\Omega/\text{m})] = [X + (51,5 - 19,5)] \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m})$$

- b) Given: measuring frequency $f = 100$ kHz, loop diameter $D = 4$ m, current in loop $I = X$ dB(μA).

Then using Figure C.11 it follows that the same EUT would have induced a current:

$$I [\text{dB}(\mu\text{A})] = X - S_3 (\text{dB}) = (X + 13) \text{ dB}(\mu\text{A})$$

in the LLA with the standard diameter $D = 2$ m.

- c) Given: validate an LLA with diameter $D = 3$ m.

Then the validation factor is found by subtracting, at each frequency, S_3 , the value of the relative sensitivity as given in Figure C.11, from the validation factor as given in Figure C.8. Hence, if the measuring frequency is 100 kHz, the validation factor for the LLA with $D = 3$ m equals $[73,5 - (-7,5)] = 81 \text{ dB}(\Omega)$.

Annex D (normative)

Construction details for open area test sites in the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz (see Clause 5)

D.1 General

Subclauses 5.2.1 through 5.2.5 contain major construction considerations for open area test sites. Additional details that are helpful in assuring a well constructed site and all weather enclosure are described in this annex. A positive way to assure the suitability of these practices is to perform NSA measurements as described in 5.2.6.

D.2 Ground plane construction

D.2.1 Material

Metal is the recommended ground plane material for field strength test sites. However, for practical reasons, metallic ground planes cannot be specified for measurement of all equipment. Some examples of metallic ground planes include solid metal sheets, metal foil, perforated metal, expanded metal, wire cloth, wire screen and metal grating. The ground plane should have no voids or gaps with linear dimensions that are an appreciable fraction of a wavelength at the highest measurement frequency. The recommended maximum opening size for screen, perforated metal, grating or expanded metal type ground planes is 1/10 of a wavelength at the highest frequency of measurement (about 3 cm at 1 000 MHz). Material comprised of individual sheets, rolls, or pieces should be soldered or welded at the seams preferably continuously but in no case with gaps longer than 1/10 wavelength. Thick dielectric coatings, such as sand, asphalt, or wood on top of metal ground planes may result in unacceptable site attenuation characteristics.

D.2.2 Roughness

The Rayleigh roughness criterion provides a useful estimate of maximum allowable r.m.s. ground plane roughness (see Figure D.1). For most practical test sites, especially for 3 m separation applications, up to 4,5 cm of roughness is insignificant for measurement purposes. Even more roughness is allowed for 10 m and 30 m sites. The site validation procedure in 5.2.6 shall be performed to determine whether the roughness is acceptable.

D.3 Services to EUT

Electrical service or mains wiring to the EUT should be run under the ground plane to the maximum extent possible and preferably at right angles to the measurement axis. All wires, cables, and plumbing to the turntable or mounting of the EUT should also be run under the ground plane. When underground routing is not possible, service to the EUT should be placed on top of, but flush with, and bonded to the ground plane.

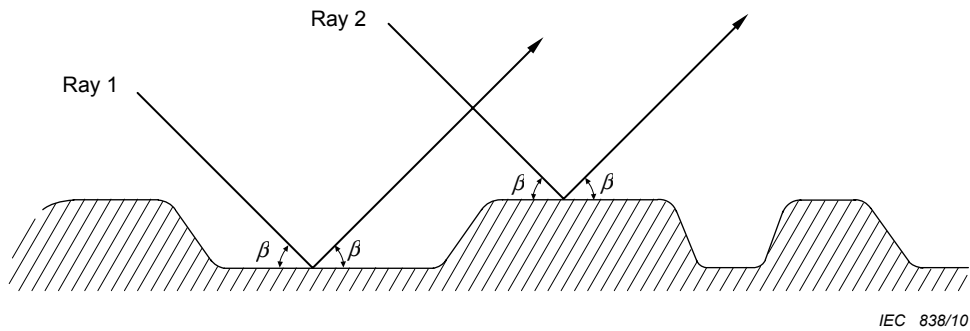


Figure D.1 – The Rayleigh criterion for roughness in the ground plane

Measurement distance R m	Source height, h_1 m	Maximum receiving antenna height, h_2 m	Maximum r.m.s. roughness b	
			In wavelengths	At 1 000 MHz cm
3	1	4	0,15	4,5
10	1	4	0,28	8,4
30	2	6	0,49	14,7

The values of b are calculated according to the formula:

$$b = \frac{\lambda}{8 \sin \beta}$$

D.4 Weather-protection enclosure construction

D.4.1 Materials and fasteners

Up to 1 000 MHz, thin sections of fibreglass and most other plastics, specially treated woods, and fabric material will not cause appreciable attenuation of EUT emissions. Moisture absorption in some materials (e.g. wood and nylon), however, can cause transmission losses that are particularly critical if EUT emissions are measured through such material. Care should be taken to ensure that air-deposited conductive particles and standing water and ice do not build up on the structure or within the material forming the structure. Inspections should be made periodically for foreign objects that might lodge on the structure, causing measurement errors.

Use of metal above the ground plane should be kept to a minimum. Use of plastic or fabric fasteners is highly recommended. Any anchors, pilings, or similar foundations should be far enough removed from the test area so as not to affect the measurement.

D.4.2 Internal arrangements

All structural members should be non-reflective. Any blowers or ducts for heating, cooling or air support should be outside the test area or outside the structure, unless they are made of non-conductive material or run below a metallic ground plane or well below a non-metallic ground plane. Temperature and humidity control may be required for the operation of the equipment. Any insulation or windows should be free of metal backing or framing. Any safety rails or stairs should also be non-conductive if located above the ground plane.

D.4.3 Size

The size of a weather protection enclosure will depend upon the size of the EUT and whether or not the entire antenna range is to be enclosed or only the area over the EUT, the area over the measuring set, or the area enclosing the receive antenna positioner and the highest extent of the receiving antenna when making vertical polarization measurements.

D.4.4 Uniformity with time and weather

It is recommended that periodic normalized site attenuation measurements be made in order to detect anomalies caused by degradation of the all-weather protection due to weather conditions (e.g. moisture absorption) or contamination of enclosure materials. This measurement also checks the calibration of RF cabling and test instrumentation. A six-month interval is generally adequate unless physical signs indicate material degradation sooner, i.e. material changes colour due to air-borne contaminants.

D.5 Turntable and set-up table

A turntable and a table for supporting the EUT are recommended for convenience in measuring electromagnetic emissions from all sides of the EUT. The turntable contains the rotation assembly, and the set-up table is used for positioning the EUT on the test site. The following three set-up and turntable configurations are considered in this clause.

- For turntables with rotation assembly below the ground, the rotating surface (top) shall be flush with and electrically-connected to the ground plane. The rotating top carries the actual set-up table.
 - For table-top equipment, the height of the set-up table shall be $0,8\text{ m} \pm 0,01\text{ m}$, and the set-up table is placed such that its centre in the horizontal plane is at the centre of the turntable which is the unit performing the rotation. The set-up table shall be removed for the NSA measurement.
 - For floor-standing equipment, the EUT is to be insulated from the conductive surface of the turntable (which is flush with the ground plane). The height of the insulating support shall be up to $0,15\text{ m}$, or as required by the product committee. The insulating support is not required when non-metallic roller casters are provided by the product. The insulating support shall be removed for the NSA measurement.
- For turntables with the rotation assembly integrated into the set-up table and placed on the turntable (which is flush with the ground plane) or on the ground plane without turntable, the set-up table shall have either a height of $0,8\text{ m} \pm 0,01\text{ m}$ for table-top equipment, or a height not exceeding $0,15\text{ m}$ for floor-standing equipment. The set-up table shall be removed for the NSA measurement.
- In a FAR, the height of the EUT set-up table is not defined and depends on the performance of the absorbing material and test volume of the FAR. The set-up table shall be removed for the NSA measurement.

NOTE An EUT/system that includes a support table as part of the equipment under test should use the support table supplied with the system and not the set-up table used on the test site.

D.6 Receiving antenna mast installation

The receiving antenna should be mounted on a non-conducting support which will allow the antenna to be raised between 1 m and 4 m for measurement distances of 10 m and less, and between 1 m and 4 m , or between 2 m and 6 m for distances greater than 10 m . The cable shall be connected to the antenna balun such that for horizontally polarized antennas, the cable is orthogonal to the axis of the antenna elements at all antenna heights in order to maintain balance with respect to ground.

The cabling from the receiving antenna balun should drop vertically to the ground plane approximately 1 m or more to the rear of the receiving antenna. From that point, it should be kept on or under the ground plane in a manner so as not to disturb the measurement. The cable between the antenna and disturbance analyzer should be as short as practical to ensure acceptable received signal levels at 1 000 MHz.

For vertically polarized dipole-type antennas, the cabling to the measuring receiver should be maintained horizontal, i.e. parallel to the ground plane, for a distance of approximately 1 m or more to the rear of the receiving antenna (away from the EUT) before dropping to the ground plane. An antenna boom approximately 1 m in length will suffice. The remaining cable routing to the analyzer is the same as for the horizontally-polarized case.

For both cases, the antenna factor calibration should not be affected by the presence of the antenna positioners and disposition of the coaxial cabling attached to the antenna.

Annex E (normative)

Validation procedure of the open area test site for the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz (see Clause 5)

E.1 General

Subclause 5.2.6 contains the general requirements and procedures for determining site validation using normalized site attenuation measurements. This annex provides step-by-step procedures to perform the NSA measurements.

E.2 Discrete frequency method

E.2.1 Measurement set-up

Refer to Figures 4 and 5 for specific test set-up details. The signal generator is connected to the transmit antenna with an appropriate length of transmission line. The transmit antenna is placed in the desired location. The transmit antenna height is set to h_1 (see Tables E.1, E.2 and E.3 for the values of h_1) and the desired polarization is selected. If a tunable dipole is used, the length is adjusted for the required frequency.

The receive antenna is mounted on a mast which allows scanning over the height range $h_{2,\min}$ to $h_{2,\max}$, placed at a distance R from the transmit antenna, and connected to the measuring receiver or spectrum analyzer via a suitable length of cable. The same polarization as that for the transmit antenna is selected and, if a tunable dipole is used, the antenna is adjusted to the required frequency. The 25 cm ground clearance is maintained for vertically oriented tuned dipoles (see Table E.3).

For all NSA measurements using tunable dipoles, it is assumed that these antennas are tuned to each frequency, including those between 30 MHz and 80 MHz.

E.2.2 Measurement procedure

The following steps should be used for each frequency indicated in Tables E.1, E.2, and E.3. The measurements are first made for antennas horizontally aligned and then for antennas vertically aligned with the transmit antenna height set at h_1 .

- 1) Adjust the output level of the signal generator to give a received voltage display well above ambient and measuring receiver or spectrum analyzer noise.
- 2) Raise the receiving antenna on the mast through scan h_2 as indicated in Tables E.1, E.2 and E.3, as appropriate.
- 3) Record the maximum signal level. This value is V_{SITE} in Equation (6), in 5.2.6.2.
- 4) Disconnect the transmit and receive cables from their antennas. Directly connect these cables with a straight through adapter.
- 5) Record the signal level with the transmit and receive cables connected. This value is V_{DIRECT} in Equation (6), in 5.2.6.2.
- 6) At each frequency and for each polarization, enter the values in steps 3) and 5) in Equation (6), in 5.2.6.2.

- 7) Insert the transmit and receive antenna factors at the measurement frequency as shown in Equation (6).
- 8) Insert the mutual impedance correction factor ΔF_{aTOT} from Table E.4 which applies only for the specific geometry of horizontal polarization using tunable dipoles separated by 3 m. $\Delta F_{aTOT} = 0$ for all other geometries.
- 9) Solve Equation (6) for A_N , which is the NSA for the measurement frequency and polarization used.
- 10) Subtract the value in step 9) from the appropriate NSA contained in Tables E.1, E.2 and E.3, as appropriate.
- 11) If the results in step 10) are less than ± 4 dB, consider the site validated at that frequency and polarization.
- 12) Repeat steps 1) through 11) for the next frequency and polarization combination.

E.3 Swept frequency method

E.3.1 Measurement set-up

The set-up is similar to that contained in E.2.1 except that only broadband antennas are used. No restrictions in vertical polarization antenna movement are necessary due to the physically small size of such broadband antennas.

E.3.2 Measurement procedure

The following steps should be made using automatic measuring equipment having a peak hold (max. hold), storage capability, and tracking generator. In this method, both receive antenna height h_2 and frequency are scanned or swept over the required frequency ranges. The frequency ranges are usually determined by the type of broadband antenna used. The frequency sweep speed shall be much greater than the antenna height scan rate. Set the transmit antenna height to h_1 .

- 1) Adjust the output level of the tracking generator to give a received voltage display well above ambient scanning receiver or spectrum analyzer noise.
- 2) Raise the receiving antenna on the mast to the maximum height of the scan range as indicated in Table E.1.
- 3) Set the spectrum analyzer to sweep the desired frequency range. Ensure that the spectrum analyzer is adjusted so that a similar signal up to 60 dB higher can be displayed on the same amplitude scale. This will accommodate the levels to be recorded in step 5).
- 4) Slowly lower the receiving antenna to the minimum height of the scan range as indicated in the tables for the appropriate site geometry. Store or record the maximum received voltage display V_R in dB(μ V). (The time it takes to lower the antenna should be much longer than the spectrum analyzer sweep time.)
- 5) Disconnect the transmit and receive cables and connect them directly with a straight through adapter. Store or record the resulting voltage display.
- 6) At each frequency, subtract the voltage measured in step 4) from the voltage measured in step 5). Also subtract the antenna factors of the transmit and receive antennas, F_{aTOT} (dB/m) and F_{aR} (dB/m), respectively. (Antenna factors as a continuous function of frequency can be obtained by using simple linear curve fitting on a set of discrete antenna factor values.) The result is the measured A_N over the range of frequencies used, which should be plotted. Also plot the theoretical normalized site attenuation for an ideal site shown in Table E.1.
- 7) The differences found between the theoretical A_N and the measured A_N shall fall within the ± 4 dB criterion.

NOTE For both NSA measurement methods, an impedance mismatch in the output of the signal source or at the input of the measuring receiver or spectrum analyzer may result in reflections which could cause errors. This should be avoided by use of padding attenuators of 10 dB – one at the output end of each transmitting and receiving antenna cable. These attenuators should remain in the cables during the entire measurement for NSA.

E.4 Possible causes for exceeding site acceptability limits

If the deviation exceeds the ± 4 dB criterion, investigate as follows.

First check the measurement system calibrations. If the signal generator and measuring instrumentation do not drift during the measurements, the prime suspects are the antenna factors. Antennas may also be defective. If these all check out, repeat the measurement. If the differences are still greater than ± 4 dB, the site and the surrounding area are suspect. The vertical site attenuation should in general be the most sensitive to site anomalies. If so, use that measurement as the basis for tracking down the problem. Possible problems include inadequate ground plane construction and size, reflecting objects too close by (fences, buildings, light towers, etc.), degraded performance of all-weather enclosures due to inadequate construction and maintenance techniques, and such long-term effects as penetration of residue from airborne conductive contaminants.

E.5 Antenna calibration

The antenna factors of broadband antennas used to make site attenuation measurements should be traceable to a national standard. Manufacturers' antenna factors may not be sufficiently accurate to achieve good agreement between measured and calculated normalized site attenuations.

NOTE 1 A separate standard on antenna calibration is under development by CISPR/A WG1.

Antenna factors usually account for losses due to the balun. If a separate balun is used, its effects shall be accounted for. Experience has shown that variations of antenna factors with geometry and polarization are generally negligible for the types of broadband antennas commonly used for EMC measurements below 1 GHz (e.g. biconicals, thick dipoles and log-periodics) as long as the transmit antenna is at least 1 m above the ground plane. If antenna factor variations are suspected because of the use of unusual antennas or measurement geometries, or from effects such as mutual coupling, or transmission line scattering for vertically polarized antennas, especially at the 3-m measurement distance, the antenna factors should first be measured using these geometries.

Normally, the site attenuation is measured in a $50\ \Omega$ system, i.e. the signal generator and measuring receiver have an impedance of $50\ \Omega$ and the radiation impedances of the transmitting and receiving antennas are balanced and matched via a balun.

Manufacturer's antenna factors are normally also specified for an impedance of $50\ \Omega$, i.e. the conversion factor for a without loss matching of the $50\ \Omega$ impedance to the radiation impedance of the antenna and, if applicable, the loss of the used balun is also contained in the given antenna factor.

If tuned half-wave dipoles are used, their free-space antenna factors can be calculated, using the following equation:

$$F_a = 20\log(2\pi/\lambda) + 10\log(73/50) = 20\log(f) - 31,9 \text{ (dB)} \quad (\text{E.1})$$

where f is in MHz.

NOTE 2 In practice, the antenna factor will be affected by the height of the dipole antenna above ground because of the mutual impedance of the dipole and its image in the ground.

The average balun loss for a well designed tuned half-wave dipole is approximately 0,5 dB. Hence Equation (E.1) becomes

$$F_a = 20\log(f) - 31,4 \text{ (dB)} \quad (\text{E.2})$$

This balun loss should be measured by connecting transmit and receive dipole back to back before they are installed in their housings. The loss per balun is 1/2 of the total loss measured, assuming both baluns are equal.

It is important to check that these calculated values are representative of the values for the particular tuned dipoles used for the NSA measurements. The simplest check is to measure the VSWR with the antennas assembled and its elements tuned to resonance. The antenna shall be placed at least 4 m above the ground, higher if possible, to minimize antenna to ground coupling, and its elements tuned to resonance using the measurements shown in Table E.3. It is sufficient to check the VSWR of the antennas at frequencies in the low end, middle and high end of their frequency ranges.

Below 100 MHz, the function of the baluns may also be checked by removing the elements, placing a 70 Ω resistor across the terminals of the element mounting block, and measuring the VSWR of the terminated balun. The VSWR should be less than 1,5 to 1.

**Table E.1 – Normalized site attenuation ^a –
Recommended geometries for broadband antennas**

Polarization	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Horizontal	Vertical	Vertical	Vertical	Vertical
d h_1 h_2	3 m 1 m 1 m to 4 m	10 m 1 m 1 m to 4 m	30 m 1 m 2 m to 6 m	30 m 1 m 1 m to 4 m	3 m 1 m 1 m to 4 m	10 m 1 m 1 m to 4 m	30 m 1 m 2 m to 6 m	30 m 1 m 1 m to 4 m
f_M (MHz)	A_N (dB)							
30	15,8	29,8	44,4	47,8	8,2	16,7	26,1	26,0
35	13,4	27,1	41,7	45,1	6,9	15,4	24,7	24,7
40	11,3	24,9	39,4	42,8	5,8	14,2	23,6	23,5
45	9,4	22,9	37,3	40,8	4,9	13,2	22,5	22,5
50	7,8	21,1	35,5	38,9	4,0	12,3	21,6	21,6
60	5,0	18,0	32,4	35,8	2,6	10,7	20,1	20
70	2,8	15,5	29,7	33,1	1,5	9,4	18,7	18,7
80	0,9	13,3	27,5	30,8	0,6	8,3	17,6	17,5
90	–0,7	11,4	25,5	28,8	–0,1	7,3	16,6	16,5
100	–2,0	9,7	23,7	27	–0,7	6,4	15,7	15,6
120	–4,2	7,0	20,6	23,9	–1,5	4,9	14,1	14,0
140	–6,0	4,8	18,1	21,2	–1,8	3,7	12,8	12,7
160	–7,4	3,1	15,9	19	–1,7	2,6	11,7	11,5
180	–8,6	1,7	14,0	17	–1,3	1,8	10,8	10,5
200	–9,6	0,6	12,4	15,3	–3,6	1,0	9,9	9,6
250	–11,9	–1,6	9,1	11,6	–7,7	–0,5	8,2	7,7
300	–12,8	–3,3	6,7	8,8	–10,5	–1,5	6,8	6,2
400	–14,8	–5,9	3,6	4,6	–14,0	–4,1	5,0	3,9
500	–17,3	–7,9	1,7	1,8	–16,4	–6,7	3,9	2,1
600	–19,1	–9,5	0	0	–16,3	–8,7	2,7	0,8
700	–20,6	–10,8	–1,3	–1,3	–18,4	–10,2	–0,5	–0,3
800	–21,3	–12,0	–2,5	–2,5	–20,0	–11,5	–2,1	–1,1
900	–22,5	–12,8	–3,5	–3,5	–21,3	–12,6	–3,2	–1,7
1 000	–23,5	–13,8	–4,5	–4,4	–22,4	–13,6	–4,2	–3,5
Key d is the horizontal separation between the projection of the transmit and receive antennas on the ground plane (m); for a broadband antenna, d is the distance between the projections of the two-antenna reference point. h_1 is the height of the centre of the transmit antenna above the ground plane (m). h_2 is the range of heights of the centre of the receive antenna above the ground plane (m); the maximum received signal in this height scan range is used for NSA measurements. f_M is the frequency in MHz. A_N is the NSA.								
^a These data apply to antennas that have at least 25 cm of ground plane clearance when the centre of the antennas is 1 m above the ground plane in vertical polarization.								

**Table E.2 – Normalized site attenuation –
Recommended geometries for tuned half-wave dipoles, horizontal polarization**

Polarization d h_1 h_2	Horizontal 3 m ^a 2 m 1 m to 4 m	Horizontal 10 m 2 m 1 m to 4 m	Horizontal 30 m 2 m 2 m to 6 m
f_M (MHz)	A_N (dB)		
30	11,0	24,1	38,4
35	8,8	21,6	35,8
40	7,0	19,4	33,5
45	5,5	17,5	31,5
50	4,2	15,9	29,7
60	2,2	13,1	26,7
70	0,6	10,9	24,1
80	–0,7	9,2	21,9
90	–1,8	7,8	20,1
100	–2,8	6,7	18,4
120	–4,4	5,0	15,7
140	–5,8	3,5	13,6
160	–6,7	2,3	11,9
180	–7,2	1,2	10,6
200	–8,4	0,3	9,7
250	–10,6	–1,7	7,7
300	–12,3	–3,3	6,1
400	–14,9	–5,8	3,5
500	–16,7	–7,6	1,6
600	–18,3	–9,3	0
700	–19,7	–10,6	–1,3
800	–20,8	–11,8	–2,4
900	–21,8	–12,9	–3,5
1 000	–22,7	–13,8	–4,4
^a The mutual impedance correction factors (see Table E.4) for horizontally polarized tuned half-wave dipoles spaced 3 m apart should be subtracted from the measured normalized site attenuation data for comparison with the theoretical normalized site attenuation values for an ideal site given in this table.			

**Table E.3 – Normalized site attenuation –
Recommended geometries for tuned half-wave dipoles – vertical polarization**

f_M MHz	$d = 3 \text{ m}$ $h_1 = 2,75 \text{ m}$		$d = 10 \text{ m}$ $h_1 = 2,75 \text{ m}$		$d = 30 \text{ m}$ $h_1 = 2,75 \text{ m}$	
	h_2 (m)	A_N (dB)	h_2 (m)	A_N (dB)	h_2 (m)	A_N (dB)
30	2,75 to 4	12,4	2,75 to 4	18,8	2,75 to 6	26,3
35	2,39 to 4	11,3	2,39 to 4	17,4	2,39 to 6	24,9
40	2,13 to 4	10,4	2,13 to 4	16,2	2,13 to 6	23,8
45	1,92 to 4	9,5	1,92 to 4	15,1	2 to 6	22,8
50	1,75 to 4	8,4	1,75 to 4	14,2	2 to 6	21,9
60	1,50 to 4	6,3	1,50 to 4	12,6	2 to 6	20,4
70	1,32 to 4	4,4	1,32 to 4	11,3	2 to 6	19,1
80	1,19 to 4	2,8	1,19 to 4	10,2	2 to 6	18,0
90	1,08 to 4	1,5	1,08 to 4	9,2	2 to 6	17,1
100	1 to 4	0,6	1 to 4	8,4	2 to 6	16,3
120	1 to 4	–0,7	1 to 4	7,5	2 to 6	15,0
140	1 to 4	–1,5	1 to 4	5,5	2 to 6	14,1
160	1 to 4	–3,1	1 to 4	3,9	2 to 6	13,3
180	1 to 4	–4,5	1 to 4	2,7	2 to 6	12,8
200	1 to 4	–5,4	1 to 4	1,6	2 to 6	12,5
250	1 to 4	–7,0	1 to 4	–0,6	2 to 6	8,6
300	1 to 4	–8,9	1 to 4	–2,3	2 to 6	6,5
400	1 to 4	–11,4	1 to 4	–4,9	2 to 6	3,8
500	1 to 4	–13,4	1 to 4	–6,9	2 to 6	1,8
600	1 to 4	–14,9	1 to 4	–8,4	2 to 6	0,2
700	1 to 4	–16,3	1 to 4	–9,7	2 to 6	–1,0
800	1 to 4	–17,4	1 to 4	–10,9	2 to 6	–2,4
900	1 to 4	–18,5	1 to 4	–12,0	2 to 6	–3,3
1 000	1 to 4	–19,4	1 to 4	–13,0	2 to 6	–4,2

**Table E.4 – Mutual coupling correction factors for geometry
using resonant tunable dipoles spaced 3 m apart**

ΔF_{aTOT} – Total correction factor in decibels		
f_M MHz	Horizontal polarization $d = 3$ m $h_1 = 2$ m $h_2 = 1$ m to 4 m	Vertical polarization $d = 3$ m $h_1 = 2,75$ m $h_2 =$ (see Table E.3)
30	3,1	2,9
35	4,0	2,6
40	4,1	2,1
45	3,3	1,6
50	2,8	1,5
60	1,0	2,0
70	–0,4	1,5
80	–1,0	0,9
90	–1,0	0,7
100	–1,2	0,1
120	–0,4	–0,2
125	–0,2	–0,2
140	–0,1	0,2
150	–0,9	0,4
160	–1,5	0,5
175	–1,8	–0,2
180	–1,0	–0,4

NOTE 1 The values for the resonant dipoles were calculated using the method of moments and the numerical electromagnetic code (NEC) or the MININEC computer system [3], [4], [9].

NOTE 2 Theoretical free-space antenna factors for ideal resonant dipoles with a 0,5 dB balun loss (for each antenna) are assumed.

NOTE 3 These correction factors do not completely describe antenna factors measured above a ground plane, e.g. at heights of 3 or 4 m, since these antenna factors differ from free-space antenna factors at the lower frequencies. However, the values are adequate to indicate site anomalies.

NOTE 4 The user is cautioned that some half-wavelength dipoles or antennas with unusual baluns may exhibit different characteristics than the antenna described in Clause E.5.

NOTE 5 Mutual coupling correction factors for 10 m and 30 m are under consideration. As an interim procedure, site adequacy can be assessed by considering these correction factors to be equal to zero.

Annex F (informative)

Basis for 4 dB site acceptability criterion (see Clause 5)

F.1 General

This annex shows the basis for the acceptability criterion of ± 4 dB for the normalized site attenuation measurements required in 5.2.6.

F.2 Error analysis

The error analysis in Table F.1 applies to the normalized site attenuation measurement methods given in 5.2.6. The total estimated errors are the basis for the ± 4 dB site acceptability criterion consisting of approximately 3 dB measurement uncertainty and an additional allowable 1 dB for site imperfections.

The error budget in Table F.1 does not include uncertainties in the amplitude stability of the signal generator, tracking generator, or any amplifiers that may be used, nor does it include the potential errors in measurement technique. The output level of most signal and tracking generators will drift with time and temperature, and the gain of many amplifiers will drift as temperature changes. It is imperative that these sources of error be held to an insignificant amount or corrected in making the measurements, otherwise the site may fail to meet the acceptability criterion due to instrumentation problems alone.

Table F.1 – Error budget

Error item	Measurement method	
	Discrete frequency method dB	Swept frequency method dB
Antenna factor (Tx) ^a	± 1	± 1
Antenna factor (Rx) ^a	± 1	± 1
Voltmeter	0	$\pm 1,6^b$
Attenuator	± 1	0
Site imperfections	± 1	± 1
Totals	± 4	$\pm 4,6$
^a At frequencies above 800 MHz, F_a errors may approach $\pm 1,5$ dB. ^b From the operating instructions.		

From the operating instructions for some automatic spectrum analyzer, for example, if everything is done to remove or compensate every potential error as much as possible the remaining amplitude errors are:

- 1) $\pm 0,2$ dB calibrator uncertainty,
- 2) $\pm 1,0$ dB frequency response flatness,
- 3) $\pm 1,0$ dB input attenuator switching,
- 4) $\pm 0,4$ dB RF and IF gain uncertainty.

This gives a total potential error of $\pm 2,6$ dB. This does not include $\pm 0,05$ dB/K temperature drift. In practice, when performing substitution type measurements, the errors associated with the frequency response flatness and input attenuator switching are usually 1 dB less, so that the total error band for the spectrum analyzer as a two-terminal voltmeter is $\pm 1,6$ dB or less, which is used in Table F.1.

Many attenuators have far poorer absolute accuracy, but some are better. The total error budget could thus be increased or decreased in the discrete measurements. If an external attenuator is used with the automatic spectrum analyzer in the swept frequency measurements this error budget is also increased.

These error budgets do not contain errors from time and temperature induced drifts of the gains, output levels, or amplitude responses of the test equipment. Such errors may exist and steps shall be taken to avoid them by making the measurements as rapidly as possible.

In practice, the errors accounted for above seldom are all in the same direction. Meeting the ± 4 dB criterion for a well constructed and located site may actually allow more than ± 1 dB site anomaly variation from ideal.

Bibliography

- [1] IEC 61169-8, *Radio-frequency connectors – Part 8: Sectional specification – RF coaxial connectors with inner diameter of outer conductor 6,5 mm (0,256 in) with bayonet lock – Characteristic impedance 50 Ω (type BNC)* (previously published as IEC 60169-8).
- [2] BEECKMAN, P. A. The influence of positioning tables on the results of radiated EMC measurements. *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Montreal, Quebec, Canada, 2001, p. 280-285.
- [3] BERRY, J., PATE, B., KNIGHT, J., "Variations in Mutual Coupling Correction Factors for Resonant Dipoles Used In Site Attenuation Measurements", *Proceeding of the IEEE Symposium on EMC*, Washington, DC, 1990.
- [4] BURKE, G. J. and POGGIO, A.J., *Numerical Electromagnetic Code – Method of Moments*, Lawrence Livermore Laboratory, California, January, 1981.
- [5] GARBE, H., *New EMC Test Facilities for Radiation Measurements, Review of Radio Science 1999-2002*, John Wiley & Sons, New York, 2002.
- [6] MOSSHAMMER, P. *Untersuchung der Einflüsse des Messzubehörs und der Umgebung auf die Messunsicherheit bei der Messung der Störfeldstärke auf Freifeldmessplätzen (Investigation of the influences of the measuring accessories and the environment on the measurement uncertainty with the measurement of the perturbative field strength on free field measuring positions)*, Diplomarbeit an Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin,
[\(http://www.regtp.de/tech_reg_tele/start/fs_06.html\)](http://www.regtp.de/tech_reg_tele/start/fs_06.html),
[\(http://www.regtp.de/imperia/md/content/tech_reg_t/emv/studien/diplomarbeit.pdf\)](http://www.regtp.de/imperia/md/content/tech_reg_t/emv/studien/diplomarbeit.pdf),
[\(http://www.regtp.de/tech_reg_tele/in_06-03-02-03-00_m/01/index.html\)](http://www.regtp.de/tech_reg_tele/in_06-03-02-03-00_m/01/index.html).
- [7] ETR 273-1-1:1998 *Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Improvement of radiated methods of measurement (using test sites) and evaluation of the corresponding measurement uncertainties – Part 1: Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics – Section 1: Introduction; Subclause 8.3.4.3: Antenna mast, turntable and mounting fixture*, ETSI Technical Report, European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, France.
- [8] MIL-STD-461A, *Electromagnetic Interference (EMI) Characteristics Requirements for Equipment*.
- [9] ROCKWAY, J. W., LOGAN, J. C., TAM, D. W. S., LI, S. T., *The MININEC System: Microcomputer Analysis of Wire Antennas*, Artech House, Boston, 1988.
- [10] ZOMBOLAS, C., The effects of table material on radiated field strength measurement reproducibility at open area test sites. *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Montreal, Quebec, Canada, 2001, p. 260-264.
- [11] BERGERVOET J.R. and VAN VEEN, H. A Large-Loop Antenna for Magnetic Field Measurements, *Proceedings of the 8th International Zürich Symposium on Electromagnetic Compatibility*, March 1989, ETH Zentrum - IKT, 8092 Zürich, Switzerland, p. 29-34.
- [12] IEEE 291-1991, *IEEE Standard Methods for Measuring Electromagnetic Field Strength of Sinusoidal Continuous Waves, 30 Hz to 30 GHz*. IEEE, Inc., 445 Hoes Lane, PO Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331 USA, p. 28-29.
- [13] GREENE, FM., *NBS Field-Strength Standards and Measurements (30 Hz to 1000 MHz). Proceedings of the IEEE*, June 1967, No. 6, vol. 55, p. 974-981.
- [14] SCHELKUNOFF, SA. and FRIIS, HT., *Antennas: Theory and Practice*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1952, p. 302-331.
- [15] SCHELKUNOFF, SA. Theory of Antennas of Arbitrary Size and Shape. *Proceedings of the IRE*, September 1941, vol. 29, p. 493-592.
- [16] WOLFF, EA. *Antenna Analysis*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1966, p. 61.
- [17] HALLÉN, E. Theoretical Investigation into the Transmitting and Receiving Qualities of Antennas. *Nova Acta Soc. Sci. Upsaliensis*, Ser. IV, 11, No. 4, 1938, p. 1-44.

- [18] KING, R.W.P., *Theory of Linear Antennas*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1956, p.16-17, 71, 184 and 487.
 - [19] *The Radio Frequency Interference Meter* NAVSHIPS 94810, by The Staff of the Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, 1962, p. 36-38.
 - [20] CLC/TR 50481, *Recommendations on filters for shielded enclosures*, CENELEC, April 2009.
 - [21] CLC/TR 50484, *Recommendations for shielded enclosures*, CENELEC, April 2009.
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	108
1 Domaine d'application	110
2 Références normatives	110
3 Termes, définitions et abréviations	111
3.1 Termes et définitions	111
3.2 Abréviations	114
4 Antennes pour la mesure des perturbations radioélectriques rayonnées	114
4.1 Généralités	114
4.2 Paramètre physique pour les mesures des émissions rayonnées	115
4.3 Gamme de fréquences de 9 kHz à 150 kHz	115
4.3.1 Généralités	115
4.3.2 Antenne magnétique	115
4.3.3 Blindage de l'antenne cadre	116
4.4 Gamme de fréquences de 150 kHz à 30 MHz	116
4.4.1 Antenne électrique	116
4.4.2 Antenne magnétique	116
4.4.3 Performance d'équilibrage et de polarisation croisée des antennes	116
4.5 Gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz	116
4.5.1 Généralités	116
4.5.2 Antenne à faible incertitude pour utilisation en l'absence de non-conformité présumée du champ E	117
4.5.3 Caractéristiques d'antenne	117
4.5.4 Symétrisation de l'antenne	119
4.5.5 Réponse de polarisation croisée de l'antenne	120
4.6 Gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz	121
4.7 Montages d'antennes particuliers – Système d'antennes cadres	122
5 Emplacements d'essai pour la mesure du champ radioélectrique perturbateur dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz	122
5.1 Généralités	122
5.2 OATS (emplacement d'essai en zone dégagée)	123
5.2.1 Généralités	123
5.2.2 Enceinte de protection contre les intempéries	123
5.2.3 Zone sans obstacle	123
5.2.4 Environnement radiofréquence ambiant d'un emplacement d'essai	125
5.2.5 Plan de sol	125
5.2.6 Procédure de validation d'OATS	125
5.3 Aptitude des emplacements d'essai pour les autres emplacements d'essai à plan de sol	130
5.3.1 Généralités	130
5.3.2 Affaiblissement normalisé d'emplacement pour les autres emplacements d'essai	131
5.3.3 Affaiblissement de l'emplacement	134
5.3.4 Plan de sol conducteur	134
5.4 Aptitude des emplacements d'essai sans plan de sol	135
5.4.1 Aspects de mesure pour les emplacements d'essai en espace libre constitués par des enceintes blindées entièrement tapissées d'absorbants	135
5.4.2 Performances d'emplacement	136

5.4.3	Critères de validation d'emplacement	144
5.5	Évaluation de la table d'essai et du pylône d'antenne	144
5.5.1	Généralités	144
5.5.2	Procédure d'évaluation de l'influence de la table d'essai	145
6	Chambre de réverbération pour la mesure de la puissance totale rayonnée	147
6.1	Généralités	147
6.2	Chambre	147
6.2.1	Dimensions et forme de la chambre	147
6.2.2	Porte, ouvertures dans les parois et équerres de montage	147
6.2.3	Agitateurs	147
6.2.4	Essai de rendement des agitateurs	148
6.2.5	Affaiblissement de couplage	149
7	Cellules TEM pour les mesures d'immunité aux perturbations rayonnées	149
8	Emplacements d'essai pour la mesure des champs radioélectriques perturbateurs dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz	150
8.1	Généralités	150
8.2	Emplacement d'essai de référence	150
8.3	Validation de l'emplacement d'essai	150
8.3.1	Généralités	150
8.3.2	Critère d'acceptation pour la validation de l'emplacement	151
8.3.3	Procédures de validation de l'emplacement – évaluation de S_{VSWR}	152
8.4	Autres emplacements d'essai	164
9	Dispositifs d'absorption en mode commun	164
9.1	Généralités	164
9.2	Mesures des paramètres S d'un CMAD	165
9.3	Montage d'essai de CMAD	165
9.4	Méthode de mesure utilisant l'étalonnage TRL	166
9.5	Spécification d'un CMAD du type à pince en ferrite	168
9.6	Vérification de la performance (dégradation) des CMAD en utilisant un analyseur de spectre et un générateur de poursuite	169
Annexe A (normative)	Paramètres des antennes	172
Annexe B (normative)	Équations donnant les caractéristiques de l'antenne monopole (antenne fouet de 1 m) et caractérisation du réseau d'adaptation associé à l'antenne	179
Annexe C (normative)	Système d'antennes cadres pour les mesures du courant induit par un champ magnétique dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz	184
Annexe D (normative)	Détails de construction des emplacements d'essai en zone dégagée dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz (voir Article 5)	193
Annexe E (normative)	Procédure de validation de l'emplacement d'essai en zone dégagée pour la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz (voir Article 5)	197
Annexe F (informative)	Base du critère de 4 dB d'acceptabilité d'un emplacement (voir Article 5)	205
Bibliographie		207

Figure 1 – Représentation schématique du rayonnement de l'EUT atteignant une antenne LPDA directement et via des réflexions sur le sol sur un emplacement de 3 m, présentant la moitié de l'ouverture de faisceau, φ , au niveau du rayon réfléchi

Figure 2 – Zone sans obstacle d'un emplacement d'essai équipé d'une table tournante (voir 5.2.3)

Figure 3 – Zone sans obstacle avec EUT fixe (voir 5.2.3)

Figure 4 – Configuration des équipements pour la mesure en polarisation horizontale de l'affaiblissement de l'emplacement (voir 5.2.6 et Annexe E)	127
Figure 5 – Configuration des équipements pour la mesure en polarisation verticale de l'affaiblissement de l'emplacement avec des doublets accordés (voir 5.2.6 et Annexe E)	128
Figure 6 – Positions types d'antenne pour les mesures de NSA en polarisation verticale d'autres emplacements d'essai.....	132
Figure 7 – Positions types d'antenne pour les mesures de NSA en polarisation horizontale d'autres emplacements d'essai.....	132
Figure 8 – Positions types d'antenne pour d'autres emplacements d'essai – Mesure de NSA en polarisation verticale pour un petit EUT.....	133
Figure 9 – Positions types d'antenne pour d'autres emplacements d'essai – Mesure de NSA en polarisation horizontale pour un petit EUT.....	133
Figure 10 – Graphique du NSA théorique en espace libre en fonction de la fréquence pour différentes distances de mesure (voir Équation (10))	137
Figure 11 – Positions de mesure pour la procédure de validation de l'emplacement	139
Figure 12 – Exemple de position de mesure et d'inclinaison d'antenne pour la procédure de validation de l'emplacement.....	140
Figure 13 – Montage de mesure de l'affaiblissement d'emplacement de référence type en espace libre	143
Figure 14 – Position de l'antenne par rapport au bord au-dessus d'une table d'essai rectangulaire (vue de dessus)	146
Figure 15 – Position de l'antenne au-dessus de la table d'essai (vue de côté).....	146
Figure 16 – Exemple d'agitateur à aubes type.....	148
Figure 17 – Gamme d'affaiblissement de couplage en fonction de la fréquence pour une chambre utilisant l'agitateur de la Figure 16.....	149
Figure 18 – Exemple de diagramme de rayonnement dans le plan <i>E</i> d'une antenne d'émission (à titre informatif uniquement)	153
Figure 19 – Diagramme de rayonnement dans le plan <i>H</i> d'une antenne d'émission (exemple donné à titre informatif uniquement)	154
Figure 20 – Positions de mesure de S_{VSWR} dans un plan horizontal (voir description en 8.3.3.2.2)	155
Figure 21 – Positions de S_{VSWR} (exigences de hauteur)	157
Figure 22 – Exigences relatives aux positions d'essai conditionnelles	163
Figure 23 – Définition des plans de référence à l'intérieur du montage d'essai	166
Figure 24 – Les quatre configurations pour l'étalonnage TRL.....	168
Figure 25 – Limites pour l'amplitude de S_{11} , mesurée selon les dispositions de 9.1 à 9.3	169
Figure 26 – Exemple de conception d'adaptateur 50 Ω dans le flasque vertical du montage.....	170
Figure 27 – Exemple d'adaptateur avec symétriseur ou transformateur.....	171
Figure 28 – Exemple d'adaptateur avec réseau d'adaptation résistif.....	171
Figure A.1 – Facteurs d'antenne des doublets courts pour $R_L = 50 \Omega$	175
Figure B.1 – Méthode utilisant un analyseur de réseau	181
Figure B.2 – Méthode utilisant un récepteur de mesure et un générateur de signal.....	182
Figure B.3 – Exemple de montage du condensateur dans une antenne fictive	182
Figure C.1 – Système d'antennes cadres, constitué de trois antennes de grand diamètre mutuellement perpendiculaires	185
Figure C.2 – Antenne de grand diamètre, comportant deux fentes opposées, positionnées symétriquement par rapport à la sonde de courant	186

Figure C.3 – Construction de la fente de l'antenne	187
Figure C.4 – Exemple de construction de fente d'antenne utilisant une bande de circuit imprimé pour obtenir une construction rigide	187
Figure C.5 – Construction du boîtier métallique renfermant la sonde de courant.....	188
Figure C.6 – Exemple montrant le cheminement de plusieurs câbles de l'EUT afin de s'assurer qu'il n'y a pas de couplage capacitif entre les conducteurs et la boucle	188
Figure C.7 – Les huit positions du doublet symétrique/dissymétrique durant la validation de l'antenne cadre de grand diamètre	189
Figure C.8 – Facteur de validation d'une grande antenne cadre de 2 m de diamètre	189
Figure C.9 – Construction du doublet symétrique/dissymétrique.....	190
Figure C.10 – Facteurs de conversion C_{dA} [pour la conversion en dB ($\mu A/m$)] et C_{dV} (pour la conversion en dB ($\mu V/m$)) pour deux distances de mesure normalisées d	191
Figure C.11 – Sensibilité S_D d'une antenne de grand diamètre d'un diamètre D par rapport à une antenne de grand diamètre ayant un diamètre de 2 m	191
Figure D.1 – Critère de Rayleigh pour la rugosité du plan de sol	194
Tableau 1 – Affaiblissement normalisé d'emplacement (géométries recommandées pour les doublets demi-onde accordés avec polarisation horizontale).....	134
Tableau 2 – Affaiblissement normalisé d'emplacement* (géométries recommandées pour les antennes à large bande)	135
Tableau 3 – Dimensions maximales du volume d'essai en fonction de la distance d'essai	138
Tableau 4 – Gammes de fréquences et tailles de pas	141
Tableau 5 – Désignations des positions d'essai de S_{VSWR}	158
Tableau 6 – Exigences concernant les rapports de S_{VSWR}	164
Tableau E.1 – Affaiblissement normalisé d'emplacement ^a – Géométries recommandées pour les antennes à large bande	201
Tableau E.2 – Affaiblissement normalisé d'emplacement – Géométries recommandées pour les doublets demi-onde accordés avec polarisation horizontale	202
Tableau E.3 – Affaiblissement normalisé d'emplacement – Géométries recommandées pour les doublets demi-onde accordés avec polarisation verticale.....	203
Tableau E.4 – Facteurs de correction de couplage mutuel pour la géométrie utilisant des doublets résonnants accordables séparés de 3 m	204
Tableau F.1 – Bilan d'erreur	205

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE
COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

**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 –
Antennes et emplacements d'essai pour les mesures
des perturbations rayonnées**

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 CISPR 16-1-4 a été établie par le sous-comité A du CISPR: Mesures des perturbations radioélectriques et méthodes statistiques.

Cette troisième édition de la CISPR 16-1-4 annule et remplace la deuxième édition publiée en 2007 et ses Amendements 1 (2007) et 2 (2008). Elle en constitue une révision technique.

La présente édition contient les modifications techniques significatives suivantes par rapport à l'édition précédente: des dispositions sont ajoutées pour traiter l'évaluation d'une table d'essai dans la gamme des fréquences supérieures à 1 GHz.

Elle a le statut de publication fondamentale en CEM en accord avec le Guide 107 de la CEI, *Compatibilité électromagnétique – Guide pour la rédaction des publications sur la compatibilité électromagnétique*.

Le texte de la présente norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
CISPR/A/885/FDIS	CISPR/A/891/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 CISPR 16, sous le titre général *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques*, est disponible sur le site web de la CEI.

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.

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

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 – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées

1 Domaine d'application

La présente partie de la CISPR 16 spécifie les caractéristiques et les performances des appareils de mesure de perturbations rayonnées dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 18 GHz. Elle comprend les spécifications pour les antennes et les emplacements d'essai.

NOTE Conformément au Guide 107 de la CEI, la CISPR 16-1-4 est une publication fondamentale en CEM destinée à être utilisée par les comités de produits de la CEI. Comme indiqué dans le Guide 107, les comités de produits ont la responsabilité de déterminer s'il convient d'appliquer ou non cette norme d'essai en CEM. Le CISPR et ses sous-comités sont prêts à coopérer avec les comités de produits à l'évaluation de la valeur des essais d'immunité particuliers pour leurs produits.

Les exigences de cette publication s'appliquent à toutes les fréquences et à tous niveaux de perturbation rayonnée, dans les limites de la plage de lecture des appareils de mesure du CISPR.

Les méthodes de mesure sont traitées dans la Partie 2-3, et des informations supplémentaires sur les perturbations radioélectriques sont données dans la Partie 3 de la CISPR 16. Les incertitudes, les statistiques et la modélisation des limites sont couvertes par la Partie 4 de la CISPR 16.

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, *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 16-1-5:2003, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-5: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Emplacements d'essai pour l'étalonnage des antennes de 30 MHz à 1 000 MHz*

CISPR 16-2-3, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 2-3: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesures des perturbations rayonnées*

CISPR/TR 16-3:2003, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 3: CISPR technical reports* (disponible en anglais uniquement)
Amendement 1(2005)
Amendement 2(2006)

CISPR 16-4-2, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 4-2: Incertitudes, statistiques et modélisation des limites – Incertitudes de mesure CEM*

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

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

3 Termes, définitions et abréviations

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants s'appliquent, ainsi que ceux de la CISPR 16-1-1, de la CISPR 16-1-5 et de la CEI 60050-161.

3.1 Termes et définitions

3.1.1

antenne

partie d'un système d'émission ou de réception qui est conçue pour rayonner ou pour recevoir des ondes électromagnétiques d'une façon déterminée

NOTE 1 Dans le contexte de cette norme, le symétriseur fait partie de l'antenne.

NOTE 2 Ce terme couvre divers dispositifs tels que l'antenne filaire, le doublet résonant en espace libre, l'antenne hybride et l'antenne cornet.

3.1.2

symétriseur

réseau électrique passif permettant la transition entre une ligne de transmission ou un dispositif symétrique et une ligne de transmission ou un dispositif non symétrique, ou le contraire

3.1.3

emplacement d'essai pour l'étalonnage

CALTS

emplacement d'essai en zone dégagée avec un plan de sol métallique et un affaiblissement d'emplacement en polarisation horizontale et verticale du champ E (champ électrique) très précisément spécifié

NOTE 1 Un CALTS est utilisé pour déterminer le facteur d'antenne en espace libre d'une antenne.

NOTE 2 Les mesures d'affaiblissement d'emplacement d'un CALTS sont utilisées pour la comparaison avec les mesures correspondantes d'affaiblissement d'emplacement d'un emplacement d'essai de conformité, afin d'évaluer les performances de l'emplacement d'essai de conformité.

3.1.4

dispositif d'absorption en mode commun

CMAD

dispositif qui peut être appliqué sur des câbles à leur sortie du volume d'essai au cours des mesures d'émissions rayonnées pour réduire l'incertitude de conformité

3.1.5

emplacement d'essai de conformité

COMTS

environnement qui garantit des résultats de mesure valides et répétables des perturbations en champ électrique produites par des appareils en essai afin d'évaluer leur conformité à des limites

3.1.6

réponse en polarisation croisée

mesure de la réjection par l'antenne du champ à polarisation croisée lorsque l'antenne subit une rotation dans un champ électromagnétique à polarisation linéaire de phase et d'amplitude uniformes au-dessus de l'ouverture de l'antenne en essai

3.1.7

enceinte complètement anéchoïque

FAR

enceinte blindée dont les surfaces internes sont tapissées par un matériau absorbant l'énergie des radiofréquences (c'est-à-dire un absorbant RF) qui absorbe l'énergie électromagnétique dans la gamme de fréquences à laquelle on s'intéresse

3.1.8

doublet résonnant en espace libre

antenne filaire constituée de deux conducteurs droits et colinéaires de même longueur, placés bout à bout, séparés par un petit espacement, chacun des conducteurs ayant une longueur d'environ un quart de longueur d'onde de telle sorte qu'à la fréquence spécifiée, l'impédance d'entrée de l'antenne filaire mesurée de part et d'autre de l'espacement soit un réel pur quand le doublet est situé en espace libre

NOTE 1 Dans le contexte de cette norme, cette antenne filaire connectée au symétriseur spécifié est aussi appelée « antenne d'essai ».

NOTE 2 Cette antenne filaire est aussi nommée « doublet accordé ».

3.1.9

antenne hybride

antenne réseau de doublets log-périodiques (LPDA) classique à éléments filaires à bras rallongé à l'extrémité du circuit ouvert pour ajouter un doublet à large bande (par exemple, biconique ou panneau), de manière que le symétriseur infini (bras) de la LPDA serve de source de tension pour le doublet à large bande

Normalement, une self de choc en mode commun est utilisée à cette extrémité du bras pour minimiser les courants RF parasites (non voulus) sur le conducteur extérieur du câble coaxial qui pénètrent dans le récepteur.

3.1.10

perte d'insertion

perte due à l'insertion d'un dispositif dans une ligne de transmission, exprimée comme le rapport des tensions immédiatement avant et après le point d'insertion d'un dispositif en essai, avant et après l'insertion

Elle est égale à l'inverse du paramètre S de transmission, $|1/S_{21}|$.

3.1.11

antenne à faible incertitude

antenne biconique ou LPDA robuste satisfaisant aux exigences de performance d'équilibrage et en polarisation croisée de la présente norme et dont le facteur d'antenne a une incertitude meilleure que $\pm 0,5$ dB, utilisée pour la mesure du champ E en un point défini de l'espace

NOTE Elle est décrite plus en détail en A.2.3.

3.1.12**site d'essai en quasi espace libre**

installation pour les mesures d'émissions rayonnées, ou pour l'étalonnage d'antenne, destinée à réaliser des conditions d'espace libre

Les réflexions indésirables provenant de l'environnement sont maintenues à un niveau minimal afin de satisfaire au critère d'acceptation de site applicable à la mesure d'émission rayonnée ou à la procédure d'étalonnage d'antenne considérée.

3.1.13**coefficient de réflexion**

rapport d'une grandeur commune entre ondes progressives réfléchies et incidentes

Ainsi, le coefficient de réflexion en tension est défini comme le rapport de la tension complexe de l'onde réfléchie sur la tension complexe de l'onde incidente. Le coefficient de réflexion en tension est égal au paramètre de dispersion S_{11} .

3.1.14**paramètres de dispersion (paramètres S)**

jeu de quatre paramètres utilisés pour décrire les propriétés d'un réseau à deux accès inséré dans une ligne de transmission

3.1.15**chambre semi-anéchoïque****SAC**

enceinte blindée dans laquelle cinq des six surfaces internes sont recouvertes d'un matériau absorbant l'énergie des radiofréquences (c'est-à-dire un absorbant RF) qui absorbe l'énergie électromagnétique dans la gamme de fréquences considérée, et la surface horizontale de la base est un plan de sol conducteur destiné à être utilisé avec les montages d'essai dans les emplacements d'essai en espace libre (OATS)

3.1.16**méthode d'étalonnage « short-open-load-through »****SOLT**

méthode d'étalonnage « through-open-short-match »

TOSM

méthode d'étalonnage pour analyseur de réseau vectoriel utilisant trois impédances de référence connues – court-circuit, circuit ouvert, et charge adaptée, et une norme de transmission unique – connexion directe

La méthode SOLT est largement utilisée et les kits d'étalonnage nécessaires avec des composants d'impédance caractéristique de 50 Ω sont très répandus. Un modèle complet de correction d'erreur pour deux accès comprend six termes d'erreur pour chacune des voies, transmission et réflexion, soient douze termes d'erreur distincts au total, ce qui exige douze mesures de référence pour réaliser l'étalonnage.

3.1.17**affaiblissement de l'emplacement**

perte d'insertion d'emplacement minimale mesurée entre deux antennes adaptées en polarisation situées sur un emplacement d'essai lorsqu'une antenne est déplacée verticalement sur une plage de hauteurs spécifiée et que l'autre est placée à une hauteur fixe

3.1.18**perte d'insertion de l'emplacement**

perte entre deux antennes placées à des positions spécifiées sur un emplacement d'essai lorsqu'une connexion électrique directe entre la sortie du générateur et l'entrée du récepteur est remplacée par des antennes d'émission et de réception placées aux positions spécifiées

3.1.19

volume d'essai

volume à l'intérieur de la FAR (enceinte complètement anéchoïque) dans laquelle l'EUT (appareil en essai) est placé

NOTE A l'intérieur de ce volume, la condition de quasi espace libre est satisfaite et ce volume se situe généralement à 0,5 m ou plus du matériau absorbant de la FAR.

3.1.20

étalonnage « through-reflect-line » (TRL)

méthode d'étalonnage pour un analyseur de réseau vectoriel utilisant trois références d'impédance connues « de transmission », « de réflexion » et « de ligne » pour l'étalonnage interne ou externe du VNA (analyseur de réseau vectoriel)

Quatre mesures de référence sont nécessaires pour cet étalonnage.

3.1.21

analyseur de réseau vectoriel

VNA

analyseur de réseau capable de mesurer des valeurs complexes des quatre paramètres S , S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22}

3.2 Abréviations

EUT	Equipment under test (Appareil en essai)
FSOATS	Free-space OATS (Emplacement d'essai en zone dégagée en espace libre)
LAS	Loop antenna system (Système d'antennes cadres)
LLA	Large-loop antenna (Antenne de grand diamètre)
LPDA	Log-periodic dipole array (Réseau de doublets log-périodiques)
NSA	Normalised site attenuation (Affaiblissement normalisé de l'emplacement)
OATS	Open-area test site (Emplacement d'essai en zone dégagée)
SA	Site attenuation (Affaiblissement de l'emplacement)
SAC	Semi-anechoic chamber (Chambre semi-anéchoïque)
S_{VSWR}	Site voltage standing wave ratio (Rapport d'ondes stationnaires en tension de l'emplacement)
VSWR	Voltage standing wave ratio (Rapport d'ondes stationnaires en tension)

4 Antennes pour la mesure des perturbations radioélectriques rayonnées

4.1 Généralités

Des antennes du type de celles qui sont utilisées pour les mesures des émissions rayonnées, ayant été étalonnées, doivent être utilisées pour mesurer le champ, en tenant compte de leurs diagrammes de rayonnement et du couplage mutuel avec leurs environnements. L'antenne et les circuits insérés entre elle et le récepteur de mesure ne doivent pas affecter de manière appréciable les caractéristiques globales du récepteur de mesure. Lorsque l'antenne est connectée au récepteur de mesure, le système de mesure doit être conforme aux exigences de bande passante de la CISPR 16-1-1 pour la bande de fréquences concernée.

L'antenne doit être polarisée linéairement. Elle doit être orientable de façon à pouvoir effectuer la mesure du rayonnement incident suivant toutes les directions de polarisation. La hauteur du centre de l'antenne au-dessus du sol ou au-dessus de l'absorbant dans une FAR peut devoir être réglable pour répondre à une procédure d'essai spécifique.

La précision de mesure de champ d'un champ uniforme d'un signal sinusoïdal doit être meilleure que ± 3 dB lorsqu'on utilise une antenne conforme aux exigences du présent paragraphe avec un récepteur de mesure conforme aux exigences de la CISPR 16-1-1.

NOTE Cette exigence ne comprend pas l'influence de l'emplacement d'essai.

Voir l'Annexe A pour plus d'informations sur les paramètres des antennes à large bande.

4.2 Paramètre physique pour les mesures des émissions rayonnées

Le paramètre physique, pour les mesures des émissions rayonnées faites par rapport à une limite d'émission exprimée en volts par mètre, est le champ E mesuré en un point défini de l'espace par rapport à la position de l'appareil en essai (EUT). De manière plus spécifique, pour les mesures dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz sur un emplacement d'essai en zone dégagée (OATS) ou dans une chambre semi anéchoïque (SAC), la grandeur à mesurer est le champ maximal en fonction des polarisations horizontale et verticale et à des hauteurs comprises entre 1 m et 4 m, et à une distance horizontale de 10 m de l'EUT, tandis que l'EUT subit une rotation selon tous les angles du plan azimutal.

4.3 Gamme de fréquences de 9 kHz à 150 kHz

4.3.1 Généralités

L'expérience a montré que, dans cette gamme de fréquences, c'est la composante magnétique du champ qui est à l'origine de la plupart des perturbations observées.

4.3.2 Antenne magnétique

Pour la mesure de la composante magnétique du rayonnement, on peut utiliser soit une antenne cadre blindée électriquement de dimensions telles que l'antenne puisse s'inscrire entièrement dans un carré de 60 cm de côté soit une antenne appropriée à bâtonnets de ferrite.

L'unité de champ magnétique est le $\mu\text{A/m}$. En unités logarithmiques, H est exprimé en dB ($\mu\text{A/m}$), soit 20 fois le logarithme du niveau de champ mesuré. La limite d'émission associée doit être exprimée dans les mêmes unités.

NOTE On peut effectuer la mesure directe de la composante magnétique du champ rayonné, en dB ($\mu\text{A/m}$) ou en $\mu\text{A/m}$ dans toutes les conditions, c'est-à-dire en champ proche ou en champ lointain. Toutefois, de nombreux récepteurs de mesure de champ sont étalonnés en termes de champ électrique E équivalent pour une onde plane en dB ($\mu\text{V/m}$), c'est-à-dire en considérant que le rapport des composantes E et H est de $120 \pi \Omega$ ou 377Ω . Les calculs de H sont les suivants:

$$H = \frac{E}{377 \Omega} \quad (1)$$

où H est généralement exprimé en $\mu\text{A/m}$ et E en $\mu\text{V/m}$.

Pour les mesures en dB:

$$H = E - 51,5 \quad (2)$$

où H est exprimé en dB ($\mu\text{A/m}$) et E en dB ($\mu\text{V/m}$).

L'impédance utilisée dans les conversions ci-dessus, $Z = 377 \Omega$, avec $20 \log Z = 51,5 \text{ dB } (\Omega)$, est une constante provenant de l'étalonnage des appareils de mesure de champ indiquant le champ magnétique en $\mu\text{V/m}$ [ou en dB ($\mu\text{V/m}$)].

4.3.3 Blindage de l'antenne cadre

Un blindage inapproprié d'une antenne cadre peut donner lieu à une réponse de champ E . La discrimination du champ E de l'antenne doit être évaluée par une rotation de l'antenne dans un champ uniforme, de manière que le plan du cadre reste parallèle au vecteur du champ E . Lorsque le plan de l'antenne cadre est perpendiculaire au flux magnétique et qu'ensuite l'antenne subit une rotation de manière que son plan soit parallèle au flux magnétique, la réponse mesurée doit décroître d'au moins 20 dB.

4.4 Gamme de fréquences de 150 kHz à 30 MHz

4.4.1 Antenne électrique

Pour la mesure de la composante électrique du rayonnement, on peut utiliser soit une antenne symétrique soit une antenne dissymétrique. Si on utilise une antenne dissymétrique, la mesure se rapporte uniquement à l'effet du champ E sur une antenne unipolaire (fouet). Le type d'antenne utilisé doit être indiqué en même temps que le résultat des mesures.

Les informations relatives au calcul des caractéristiques de performance d'une antenne unipolaire (fouet) et à la caractérisation de son réseau d'adaptation sont données à l'Annexe B. L'Annexe B indique que le facteur d'antenne obtenu avec la méthode Equivalent Capacitance Substitution Method (substitution d'une capacité équivalente) (ECSM) présente des incertitudes plus élevées pour les longueurs unipolaires supérieures à un huitième de longueur d'onde.

L'unité de champ électrique doit être le $\mu\text{V/m}$. En unités logarithmiques, E doit être exprimé en dB ($\mu\text{V/m}$), soit 20 fois le logarithme du niveau de champ mesuré. La limite d'émission associée doit être exprimée dans les mêmes unités.

4.4.2 Antenne magnétique

Pour la mesure de la composante magnétique du rayonnement, on doit utiliser l'antenne cadre blindée électriquement décrite en 4.3.2.

NOTE Les antennes cadres accordées, électriquement symétriques, peuvent être utilisées pour effectuer des mesures pour des champs magnétiques aussi faibles que $-51,5$ dB ($\mu\text{A/m}$) en utilisant une détection QP dans la gamme de fréquences de 1,6 MHz à 30 MHz, c'est-à-dire plus faibles que les antennes cadres non accordées, électriquement blindées, où le niveau de bruit est approximativement 25 dB plus grand.

4.4.3 Performance d'équilibrage et de polarisation croisée des antennes

Si une antenne à champ E symétrique est utilisée, elle doit satisfaire aux exigences de 4.5.4. Si une antenne à champ magnétique symétrique est utilisée, elle doit satisfaire aux exigences de 4.3.3.

4.5 Gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz

4.5.1 Généralités

Dans cette gamme de fréquences, les mesures concernent le champ E , c'est pourquoi les antennes à champ magnétiques ne sont pas incluses. L'antenne doit être une antenne analogue à un doublet conçue pour mesurer le champ E , et le facteur d'antenne en espace libre doit être utilisé. Les types d'antenne comprennent:

- a) des antennes doublet accordées dont les paires d'éléments sont soit des fouets droits soit de forme conique;
- b) des doublets réseau comme les antennes réseaux de doublets log-périodiques (LPDA), comprenant une série de jeux échelonnés d'éléments de fouet droit;
- c) et des antennes hybrides.

4.5.2 Antenne à faible incertitude pour utilisation en l'absence de non-conformité présumée du champ E

Pour une incertitude de mesure inférieure, la valeur du champ E mesurée par une antenne biconique type ou une antenne LPDA est préférable, en particulier à celle mesurée par des antennes hybrides. Les antennes types biconiques et LPDA sont définies dans l'Annexe A et seules les antennes étalonnées doivent être utilisées.

NOTE 1 Des incertitudes améliorées sont obtenues en utilisant l'antenne biconique dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 250 MHz et l'antenne LPDA dans la gamme de fréquences de 250 MHz à 1 GHz. Sinon, une fréquence de transfert de 200 MHz peut être utilisée mais les incertitudes dues aux variations de centre de phase de la LPDA seront supérieures et il convient de les inclure dans le bilan des incertitudes de mesure des émissions rayonnées consignées.

NOTE 2 L'incertitude de mesure des émissions rayonnées provenant d'un EUT dépend de nombreux facteurs d'influence différents comme la qualité de l'emplacement, l'incertitude du facteur d'antenne, le type d'antenne et les caractéristiques du récepteur de mesure. La raison qui prévaut à la définition d'antennes à faible incertitude est de limiter d'autres influences d'antenne sur l'incertitude de mesure, comme l'effet du couplage mutuel avec un plan de sol, le diagramme de rayonnement par rapport au balayage de la hauteur et à la position variable du centre de phase. La vérification des effets de ces influences est une comparaison des valeurs lues des deux antennes à la fréquence de commutation choisie, dont il convient qu'elle donne la même valeur de champ E dans les limites d'une marge de ± 1 dB.

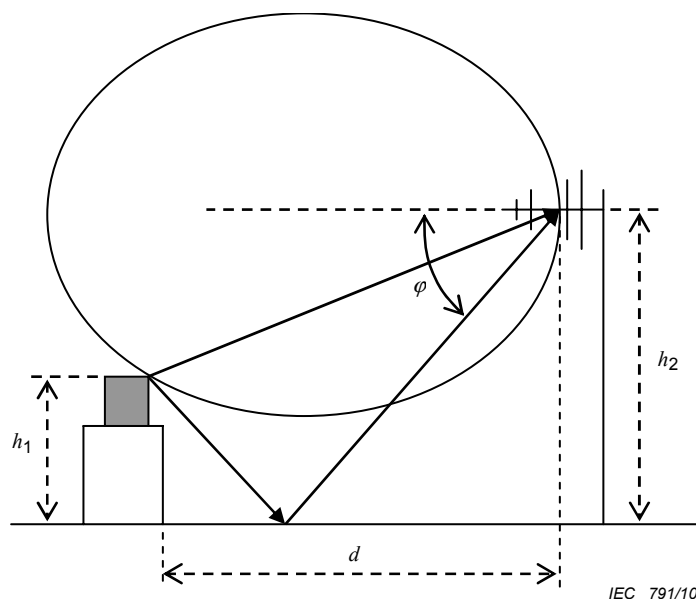
4.5.3 Caractéristiques d'antenne

Étant donné que pour les fréquences de la gamme de 300 MHz à 1 000 MHz, la sensibilité d'un doublet simple est faible, on peut utiliser une antenne plus complexe. Une telle antenne doit avoir les caractéristiques suivantes.

- a) L'antenne doit être polarisée linéairement, ce qui doit être contrôlé en appliquant la procédure d'essai de polarisation croisée de 4.5.5.
- b) Les antennes à doublets symétriques, comme les doublets accordés et les antennes biconiques, doivent présenter des performances de symétriseur validées, ce qui doit être contrôlé en appliquant la procédure d'essai de symétrie de 4.5.4. Cela s'applique aussi aux antennes hybrides en dessous de 200 MHz.
- c) On prend comme hypothèse un site d'essai avec un plan de sol conducteur. L'amplitude du signal reçu sera réduite si l'un ou l'autre signal ou les deux signaux direct et réfléchi par le sol de l'EUT vers l'antenne n'entrent pas dans le lobe principal du diagramme de rayonnement de l'antenne à sa valeur de crête. La valeur de crête est habituellement dans le sens de l'axe de visée de l'antenne. Cette réduction de l'amplitude est considérée comme une erreur de l'émission rayonnée: la tolérance d'incertitude qui s'ensuit est fondée sur la largeur de faisceau, 2ϕ , (voir la Figure 1).

Les conditions pour s'assurer que cette erreur n'est pas supérieure à +1 dB sont données ci-dessous au point 1) pour un emplacement de 10 m et au point 2) pour un emplacement de 3 m. En variante, une condition fondée sur le gain d'antenne est donnée au point 3) afin de s'affranchir des conditions laborieuses avec le diagramme de rayonnement.

Des mesures d'émission sont réalisées avec l'antenne en polarisation horizontale et verticale. Si l'on choisit de mesurer les diagrammes de rayonnement dans un seul plan, les diagrammes plus étroits doivent être utilisés, comme suit: le diagramme de l'antenne doit être vérifié dans le plan horizontal lorsque celle-ci est orientée en polarisation horizontale.



NOTE Les quantités sont définies dans l'Équation (4).

Figure 1 – Représentation schématique du rayonnement de l'EUT atteignant une antenne LPDA directement et via des réflexions sur le sol sur un emplacement de 3 m, présentant la moitié de l'ouverture de faisceau, φ , au niveau du rayon réfléchi

- 1) Pour un OATS de 10 m ou une SAC, la réponse de l'antenne en direction du rayon direct diffère de façon négligeable de l'amplitude suivant l'axe de visée, lorsque l'antenne est alignée de sorte que son axe de visée soit parallèle au plan de sol. La composante de directivité de l'incertitude dans la mesure d'émission peut être maintenue inférieure à +1 dB si la réponse de l'antenne en direction du rayon réfléchi n'est pas inférieure de plus de 2 dB à la réponse suivant l'axe de visée de l'antenne. Afin de vérifier cette condition, l'ouverture totale du faisceau vertical 2φ de l'antenne de mesure, à l'intérieur de laquelle le gain d'antenne reste inférieur à 2 dB de sa valeur maximale, doit être telle que:

$$\varphi > \tan^{-1} \frac{h_1 + h_2}{d} \quad (3)$$

- 2) Pour des sites avec une séparation inférieure à 10 m, généralement de 3 m, l'ouverture totale du faisceau vertical 2φ de l'antenne de mesure, à l'intérieur de laquelle le gain d'antenne reste inférieur à 1 dB de sa valeur maximale, doit être telle que:

$$2\varphi > \left(\tan^{-1} \frac{h_1 + h_2}{d} \right) - \left(\tan^{-1} \frac{h_1 - h_2}{d} \right) \quad (4)$$

où

h_1 est la hauteur de l'appareil en essai;

h_2 est la hauteur de l'antenne de mesure;

d est la distance horizontale entre le centre de phase de l'antenne de mesure et le dispositif en essai.

Si l'on n'a pas recours à l'inclinaison de l'antenne vers le bas susceptible de réduire les incertitudes associées, la diminution du signal reçu doit être calculée à partir des diagrammes de rayonnement et appliquée comme correction ou comme incertitude de directivité. Des exemples de bilans d'incertitude sont donnés dans la CISPR 16-4-2.

NOTE 1 En prenant pour hypothèse un diagramme de rayonnement de champ E normalisé à la valeur unité sur l'axe de visée (= valeur de crête du lobe principal), lire le champ E aux angles de déclinaison de l'antenne pour chacun des rayons directs, E_D , et réfléchis, E_R . L'erreur, comparée à un champ E d'amplitude unitaire pour chacun des rayons directs et réfléchis, est donnée en décibels par: $20 \log [2/(E_D + E_R)]$.

NOTE 2 La réduction de l'intensité du signal due à une directivité réduite aux angles en dehors de l'axe de visée de l'antenne est une erreur systématique et peut de ce fait être corrigée. Si une correction est appliquée, à partir de la connaissance des diagrammes de rayonnement à chaque fréquence et polarisation, l'incertitude sur l'intensité du signal émis peut être réduite en conséquence.

- 3) Pour les types d'antenne à grande ouverture de faisceau utilisées pour les essais d'émissions rayonnées, telles que les antennes biconiques, LPDA et hybrides, l'ouverture de faisceau est inversement liée à la directivité de l'antenne. Une variante du critère fondé sur les ouvertures de faisceau des points 1) et 2) consiste à spécifier le gain maximal d'une antenne et à se référer aux tolérances d'incertitude génériques pour la composante de directivité dans le bilan d'incertitudes pour un essai d'émissions. Les incertitudes génériques, fondées sur les ouvertures de faisceaux les plus étroites dans la gamme de fréquences utilisée pour une antenne donnée, figurent dans la CISPR 16-4-2. Le gain isotrope maximal d'antenne pour des antennes biconiques doit être de 2 dB, et il doit être de 8 dB pour les antennes réseaux de doublets log-périodiques (LPDA) et les antennes hybrides. Pour les types d'antennes LPDA en V, dont l'ouverture de faisceau dans le plan H est rendue égale à l'ouverture de faisceau dans le plan E , le gain isotrope admissible maximal doit être de 9 dB.

NOTE 3 Les incertitudes de directivité données dans la CISPR 16-4-2 peuvent être utilisées pour une séparation de 10 m, mais des incertitudes révisées sont nécessaires pour une séparation de 3 m.

- d) L'affaiblissement de réflexion de l'antenne avec le câble d'alimentation de l'antenne connecté ne doit pas être inférieur à 10 dB. Un atténuateur d'adaptation peut être intégré au câble d'alimentation des antennes si cela s'avère nécessaire pour satisfaire à cette exigence.
- e) Un facteur d'étalonnage doit être indiqué pour permettre de satisfaire aux exigences de 4.1.

4.5.4 Symétrisation de l'antenne

4.5.4.1 Généralités

Dans les mesures des émissions rayonnées, des courants de mode commun (CM) peuvent exister sur le câble relié à l'antenne de réception (le câble d'antenne). Ces courants de CM créent eux-mêmes des champs électromagnétiques qui peuvent être captés par l'antenne de réception. Les résultats de mesure d'émission rayonnée peuvent de ce fait être influencés.

Les contributions majeures aux courants de CM dans le câble d'antenne proviennent

- a) du champ électrique E produit par l'EUT, si ce champ a une composante parallèle au câble d'antenne, et
- b) de la conversion du mode différentiel (DM) du signal d'antenne (signal utile) en un signal CM du fait de l'imperfection du symétriseur de l'antenne de réception.

En général, les antennes réseaux de doublets log-périodiques ne présentent pas une conversion de mode différentiel en mode commun (DM/CM) significative et les vérifications qui suivent s'appliquent aux doublets, aux antennes biconiques et aux antennes hybrides.

4.5.4.2 Vérification de la conversion de mode différentiel en mode commun (DM/CM) du symétriseur

La méthode suivante décrit la mesure de deux tensions, U_1 et U_2 , dans la gamme de fréquences pour laquelle l'antenne de réception est utilisée. Le rapport de ces tensions, exprimées dans la même unité, par exemple en dB (μV), est une mesure de la conversion DM/CM.

- a) Placer l'antenne de réception en essai en polarisation verticale, la hauteur de son centre étant de 1,5 m au-dessus du plan de sol. Sortir une longueur de $1,5 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$ de câble

d'antenne derrière l'élément actif arrière de l'antenne de réception à une hauteur de 1,5 m au-dessus du plan de sol et la laisser ensuite tomber verticalement sur le plan de sol.

- b) Placer une deuxième antenne (d'émission) en polarisation verticale à une distance horizontale de 10 m du centre de l'antenne en essai. L'antenne d'émission doit être positionnée de façon que l'extrémité de son élément actif le plus grand soit à une hauteur de 0,10 m au-dessus du plan de sol. Si la plage de l'emplacement utilisé pour l'essai d'émission est de 3 m, effectuer cette vérification à une distance de 3 m (si la vérification de la conversion a déjà été effectuée à 10 m de distance et montre une différence de moins de $\pm 0,5$ dB entre U_1 et U_2 , il n'est pas nécessaire d'effectuer une mesure séparée à 3 m). La spécification de l'antenne d'émission doit comprendre la gamme de fréquences de l'antenne en essai.
- c) Connecter une source de signal à l'antenne d'émission, par exemple un générateur de poursuite, régler le niveau de ce générateur de telle sorte que, dans la gamme de fréquences concernée, le rapport signal sur bruit ambiant au niveau du récepteur soit supérieur à 10 dB.
- d) Enregistrer la tension U_1 au niveau du récepteur dans la gamme de fréquences concernée.
- e) Retourner l'antenne de réception (tourner l'antenne de 180°) sans rien changer d'autre dans la disposition d'essai, en particulier le câble de l'antenne de réception, et sans changer le réglage de la source de signal.
- f) Enregistrer la tension U_2 au niveau du récepteur dans la gamme de fréquences.
- g) La conversion DM/CM est suffisamment faible si $20 \log (U_1/U_2) < 1$ dB.

NOTE 1 Si le critère de conversion DM/CM n'est pas respecté, des anneaux de ferrite autour du câble peuvent réduire la conversion DM/CM. L'ajout de ferrites sur l'antenne peut également être utilisé pour vérifier si la contribution du point a) de 4.5.4.1 a un effet non négligeable. Répéter l'essai avec quatre ferrites espacées approximativement de 20 cm. Si le critère est respecté en utilisant ces ferrites, il convient de les utiliser au cours des mesures d'émission réelles. De la même façon, l'interaction du câble peut être réduite en l'étendant de plusieurs mètres derrière l'antenne avant de le faire descendre sur le sol.

NOTE 2 Si l'antenne de réception est utilisée dans une FAR, la vérification du rapport DM/CM peut être effectuée dans une telle chambre avec l'antenne de réception à sa position usuelle et l'antenne d'émission au centre du volume d'essai de cette chambre. Il convient que la chambre satisfasse au critère des ± 4 dB.

NOTE 3 Il convient que l'emplacement de mesure avec plan de sol ou la chambre entièrement anéchoïque soit conforme aux exigences de NSA (affaiblissement normalisé de l'emplacement) respectives.

NOTE 4 Il convient que la distance horizontale de 1,5 m sur laquelle le câble d'antenne s'étend derrière le centre de l'antenne soit maintenue à un minimum pendant les mesures réelles en polarisation verticale des émissions rayonnées.

NOTE 5 Il n'est pas nécessaire de définir strictement l'installation d'essai car cet effet est dominé par l'interaction entre l'antenne et la partie du câble d'antenne parallèle aux éléments de l'antenne. Les effets dépendant de l'uniformité du champ incident sur l'antenne de réception dans les installations d'essai de CEM (compatibilité électromagnétique) sur un OATS ou dans une FAR sont beaucoup plus faibles.

NOTE 6 Pour les symétriseurs dont le connecteur de câble de réception est monté sur le côté (à 90° du bras de l'antenne), il convient d'utiliser un connecteur à angle droit pour réduire le mouvement du câble.

4.5.5 Réponse de polarisation croisée de l'antenne

Lorsque l'antenne est placée dans un champ électromagnétique à polarisation plane, la tension aux bornes, lorsque l'antenne et le champ sont en polarisation croisée, doit être d'au moins 20 dB inférieure à celle en co-polarisation.

Cet essai s'applique délibérément à des antennes réseaux de doublets log-périodiques (LPDA) pour lesquelles les deux moitiés de chaque doublet sont décalées. Une méthode d'essai pour déterminer cette exigence pour les antennes LPDA est présentée. La majorité des essais avec de telles antennes s'effectue au-dessus de 200 MHz, mais ces exigences s'appliquent sur toute la gamme de fréquences allant de 30 MHz à 1 000 MHz. Cet essai n'est pas destiné aux doublets alignés ou aux antennes biconiques car une réjection de polarisation croisée supérieure à 20 dB est une caractéristique de leur conception symétrique. Ces antennes et les

antennes cornet doivent avoir une réjection supérieure à 20 dB et il convient qu'un essai de type effectué par le fabricant le confirme.

Afin d'obtenir des conditions d'espace quasi-libre, on peut utiliser une chambre anéchoïque de haute qualité ou des pylônes de hauteur suffisante au-dessus du sol en zone dégagée. Pour minimiser les réflexions sur le sol, les antennes sont polarisées verticalement. Une onde plane doit être envoyée sur l'antenne en essai. La distance entre le centre de l'antenne en essai et l'antenne source doit être supérieure à une longueur d'onde.

NOTE Il est nécessaire d'avoir un emplacement de bonne qualité pour envoyer une onde plane sur l'antenne en essai. La discrimination de polarisation croisée procurée par l'onde plane peut être démontrée par une transmission entre deux antennes cornet ou deux guides d'onde à extrémité ouverte et en vérifiant que la combinaison du défaut de l'emplacement et la caractéristique de polarisation croisée propre à une antenne cornet conduit à une suppression de la composante horizontale de plus de 30 dB. Si les défauts de l'emplacement sont très faibles et si les antennes cornet ont des performances identiques, la performance de polarisation croisée d'un cornet est d'environ 6 dB plus faible que celle de la combinaison de couplage de polarisation croisée de la paire de cornets.

Un signal parasite d'un niveau de 20 dB inférieur à celui du signal désiré donne une erreur maximale de $\pm 0,9$ dB sur le signal désiré. L'erreur maximale intervient lorsque le signal en polarisation croisée est en phase avec le signal co-polarisé. Si la réponse en polarisation croisée de la LPDA est moins bonne que 20 dB, l'opérateur doit calculer l'incertitude et la déclarer avec les résultats. Par exemple, un niveau de polarisation croisée de 14 dB entraîne une incertitude maximale de +1,6 dB à -1,9 dB. On prend la valeur la plus élevée et on suppose une distribution en forme de U pour calculer l'incertitude-type.

Pour ajouter un signal de 0 dB à un autre de -14 dB, convertir d'abord en tensions relatives en divisant ces valeurs par 20 et en prenant l'antilogarithme. Ajouter ensuite le plus petit signal au signal unité. Prendre le logarithme et multiplier par 20. Le résultat est l'erreur positive en décibels. Répéter le calcul mais en soustrayant le plus petit signal du signal unité pour obtenir l'erreur négative en décibels.

Pour le calcul de l'incertitude d'une mesure d'émission rayonnée, si le niveau de signal mesuré avec une polarisation dépasse de 6 dB ou plus celui du signal mesuré avec la polarisation orthogonale, une LPDA dont la discrimination de polarisation croisée n'est que de 14 dB sera estimée comme ayant satisfait à la spécification des 20 dB. Si la différence entre les niveaux des signaux en polarisation verticale et en polarisation horizontale est inférieure à 6 dB, l'incertitude supplémentaire doit être calculée si la somme de cette différence et de la polarisation croisée est inférieure à 20 dB.

4.6 Gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz

La mesure des émissions rayonnées au-dessus de 1 GHz doit être effectuée en utilisant des antennes étalonnées et polarisées linéairement. Celles-ci comprennent par exemple les antennes LPDA, les cornets à double strie et les cornets à gain standard. Le « faisceau » ou lobe principal du diagramme de toute antenne utilisée doit être suffisamment grand pour inclure l'EUT lorsqu'il est placé à la distance de mesure, ou des dispositions doivent être prises pour « balayer » l'EUT afin de déterminer la direction ou la source de ses émissions rayonnées. La largeur du lobe principal est définie comme la largeur du faisceau de l'antenne à 3 dB, et il convient de fournir des informations permettant de déterminer ce paramètre dans la documentation de l'antenne. Pour les antennes cornet, la condition suivante doit être satisfaite:

$$d \geq \frac{D^2}{2\lambda} \quad (5)$$

où

d est la distance de mesure (m);

D est la plus grande dimension de l'ouverture de l'antenne (m); et

λ est la longueur d'onde en espace libre à la fréquence de mesure (m).

4.7 Montages d'antennes particuliers – Système d'antennes cadres

Dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz, le pouvoir perturbateur de la composante magnétique du rayonnement produit par un EUT unique peut être déterminé au moyen d'un système d'antennes cadres (LAS) particulier, où il est mesuré en termes de courants induits par le champ magnétique dans les antennes cadres du LAS. Le LAS mesure le courant induit par la composante de champ magnétique de l'EUT unique. Le LAS permet d'effectuer des mesures à l'intérieur.

Le LAS se compose de trois antennes circulaires de grand diamètre (LLA), de 2 m de diamètre, occupant des plans mutuellement perpendiculaires, montées sur un support non métallique. Une description complète du LAS est donnée à l'Annexe C.

L'EUT est placé au centre du LAS. Les dimensions maximales de l'EUT sont limitées de façon que la distance entre l'EUT et une LLA soit au moins de 0,20 m. Des instructions pour le cheminement des câbles de signaux sont données dans la Note 2 de l'Article C.3, et à la Figure C.6. Il convient que les câbles cheminent ensemble et sortent du volume de la boucle dans le même octant de la cellule, et à une distance supérieure à 0,4 m de chacun des cadres du LAS.

Les trois LLA occupant des plans mutuellement perpendiculaires permettent de mesurer le pouvoir perturbateur du champ rayonné dans toutes les polarisations, avec la précision prescrite, sans qu'il soit nécessaire de faire tourner l'EUT ou de modifier l'orientation des LLA.

Chacune des trois LLA doit être conforme aux exigences de validation données à l'Article C.4.

NOTE On peut utiliser des LLA circulaires d'un diamètre différent du diamètre normalisé de 2 m, à condition que leur diamètre D soit inférieur ou égal à 4 m et que la distance en m entre l'EUT et l'une des antennes soit d'au moins $0,10 \times D$. Les facteurs de correction à appliquer pour les antennes non normalisées sont donnés à l'Article C.6.

5 Emplacements d'essai pour la mesure du champ radioélectrique perturbateur dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz

5.1 Généralités

L'environnement doit assurer des résultats de mesures valides et reproductibles du champ perturbateur produit par l'appareil. Pour les appareils qui ne peuvent être essayés que sur leur lieu d'utilisation, des dispositions différentes doivent être prises.

5.2 OATS (emplacement d'essai en zone dégagée)

5.2.1 Généralités

Les mesures du champ perturbateur sont normalement effectuées sur un emplacement d'essai en zone dégagée. Les OATS sont des zones caractéristiques d'un terrain plat dégagé. De tels emplacements d'essai doivent être exempts de constructions, de lignes électriques, de barrières, d'arbres, etc. et ne pas comporter de câbles ou canalisations enterrés, etc., sauf ceux nécessaires à l'alimentation et au fonctionnement de l'EUT. L'Annexe D donne des recommandations spécifiques de construction des OATS pour les essais de champ électromagnétique dans la gamme de 30 MHz à 1 GHz. La procédure de validation de l'emplacement pour les OATS est donnée en 5.2.6 avec des détails complémentaires à l'Annexe E, l'Annexe F contenant le critère d'acceptabilité.

5.2.2 Enceinte de protection contre les intempéries

Une protection contre les intempéries est souhaitable si l'emplacement d'essai est utilisé tout au long de l'année. Une structure de protection contre les intempéries peut soit protéger l'emplacement d'essai complet (y compris l'EUT et l'antenne de mesure de champ) soit l'EUT uniquement. Les matériaux utilisés doivent être transparents au rayonnement RF, afin de n'entraîner aucune réflexion ou affaiblissement indésirables du champ émis par l'EUT (voir 5.3.1).

La structure doit avoir une forme telle qu'elle permette de retirer facilement la neige, la glace ou l'eau. Pour plus de détails, voir l'Annexe D.

5.2.3 Zone sans obstacle

Pour les emplacements d'essai en zone dégagée, une zone sans obstacle entourant l'EUT et l'antenne de mesure de champ est nécessaire. La zone sans obstacle doit être exempte de diffuseurs importants des champs électromagnétiques, et doit être suffisamment grande pour que les diffuseurs situés à l'extérieur de la zone sans obstacle aient peu d'effets sur les champs mesurés par l'antenne de mesure de champ. Pour déterminer la conformité de cette zone, des essais de validation de l'emplacement doivent être effectués.

Puisque l'importance de la dispersion du champ par un objet dépend de nombreux facteurs (taille de l'objet, distance le séparant de l'EUT, orientation par rapport à l'EUT, conductivité et permittivité de l'objet, fréquence, etc.), il est impossible de définir une zone sans obstacle raisonnable nécessaire et suffisante pour toutes les applications. Les dimensions et la forme de la zone sans obstacle dépendent de la distance de mesure et du fait que l'EUT tourne ou non. Si l'emplacement est équipé d'une table tournante, la zone sans obstacle recommandée est une ellipse dont les deux foyers sont l'antenne de réception et l'EUT, et dont le grand axe est égal à deux fois la distance de mesure, et le petit axe égal au produit de la distance de mesure par la racine carrée de 3 (voir Figure 2).

Pour cette ellipse, le chemin parcouru par un rayon indésirable réfléchi par tout objet du périmètre est égal à deux fois la longueur du chemin du rayon direct entre les foyers. Si un EUT de grandes dimensions est installé sur la table tournante, la zone sans obstacle doit être agrandie de telle manière que les distances de dégagement des obstacles soient respectées sur tout le périmètre de l'EUT.

Si l'emplacement n'est pas équipé d'une table tournante, c'est-à-dire si l'EUT est fixe, la zone sans obstacle recommandée est une zone circulaire telle que la distance radiale du bord de l'EUT au bord de la zone est supérieure ou égale à la distance de mesure multipliée par 1,5 (voir Figure 3). Dans ce cas, on déplace l'antenne autour de l'EUT à la distance de séparation.

Le terrain compris dans la zone sans obstacle doit être plat. De faibles pentes, nécessaires à un drainage adéquat, sont acceptables. La planéité du plan de sol métallique, si l'on en utilise un, est traitée à l'Article D.2. Les appareils de mesure et le personnel réalisant les essais doivent être situés à l'extérieur de la zone sans obstacle.

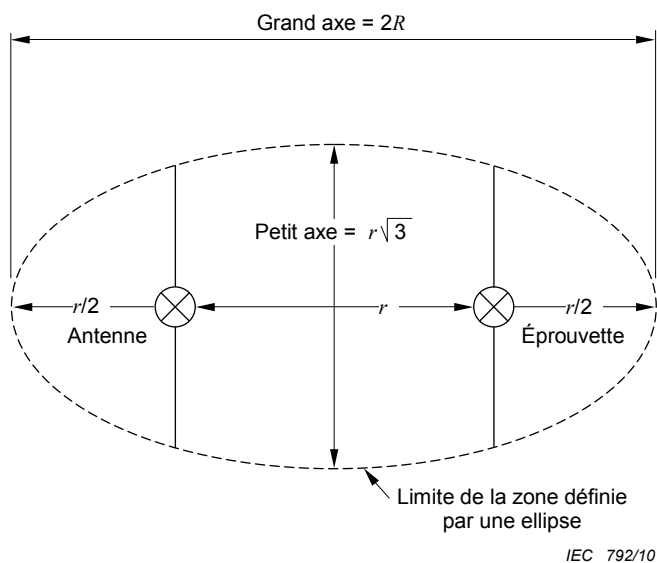


Figure 2 – Zone sans obstacle d'un emplacement d'essai équipé d'une table tournante (voir 5.2.3)

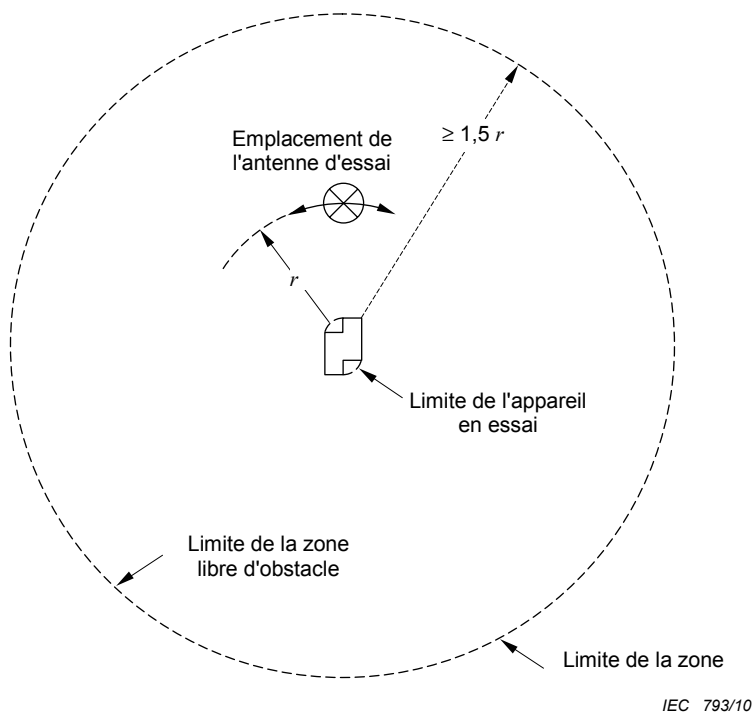


Figure 3 – Zone sans obstacle avec EUT fixe (voir 5.2.3)

5.2.4 Environnement radiofréquence ambiant d'un emplacement d'essai

Les niveaux à radiofréquence ambiants d'un emplacement d'essai doivent être suffisamment bas comparés aux niveaux des mesures à effectuer. À cet égard, la qualité de l'emplacement peut être évaluée en quatre catégories énumérées ci-dessous, par ordre de qualité:

- a) les émissions ambiantes sont d'au moins 6 dB inférieures aux niveaux de mesure,
- b) certaines émissions ambiantes sont à moins de 6 dB des niveaux de mesure,
- c) certaines émissions ambiantes sont supérieures aux niveaux de mesure mais sont, soit apériodiques (c'est-à-dire que le temps séparant deux émissions est suffisamment long pour permettre la réalisation d'une mesure), soit continues mais seulement à un nombre limité de fréquences identifiables,
- d) les niveaux ambiants sont supérieurs aux niveaux de mesure sur une grande partie de la gamme de fréquences de mesure et existent en continu.

Il convient que le choix d'un emplacement d'essai garantisse que la précision de la mesure est maintenue, en tenant compte de l'environnement et du niveau de compétence technique disponible.

NOTE Un niveau ambiant d'au moins 20 dB au-dessous de la limite des émissions mesurées est considéré comme optimum.

5.2.5 Plan de sol

Le plan de sol peut être composé d'une large gamme de matériaux s'étendant de la terre à un matériau métallique à haute conductivité. Le plan peut être au niveau du sol ou surélevé sur une plate-forme de taille appropriée ou sur un toit. Il est préférable d'utiliser un plan de sol métallique mais, pour certains appareils ou applications, il peut ne pas être recommandé par certaines publications relatives à des produits. La qualité du plan de sol métallique dépend de la conformité de l'emplacement aux exigences de validation de l'emplacement de 5.2.6. Si aucun matériau métallique n'est utilisé, il est nécessaire de prendre soin de choisir un emplacement dont les caractéristiques de réflectivité ne changent pas avec le temps, les conditions météorologiques, ou en raison de matériaux métalliques enterrés tels que canalisations, conduits, ou sol non homogène. De tels emplacements donnent généralement des caractéristiques d'affaiblissement différentes de celles trouvées pour des emplacements à surface métallique.

5.2.6 Procédure de validation d'OATS

5.2.6.1 Généralités

La procédure de validation et les exigences pour le NSA données ici sont utilisées pour qualifier un OATS avec un plan de sol métallique. Pour d'autres emplacements d'essai, la procédure de validation n'a qu'une valeur d'information et, en général, signale également les éventuelles irrégularités de l'emplacement qu'il convient d'étudier. Les procédures de validation applicables aux chambres munies de matériaux absorbants sont données en 5.4.

La validation d'un emplacement d'essai en zone dégagée est effectuée avec deux antennes orientées horizontalement et verticalement par rapport au sol, comme illustré respectivement aux Figures 4 et 5. La Figure 5 représente la configuration pour la polarisation verticale en utilisant des antennes doublets accordées. Pour les antennes à large bande, les hauteurs d'antenne doivent être de $h_1 = h_{2\min} = 1$ m.

L'affaiblissement de l'emplacement en zone dégagée est obtenu à partir du rapport entre la tension de source V_i injectée à une antenne d'émission et la tension reçue V_R mesurée aux bornes de l'antenne de réception. Les mesures de tension sont effectuées dans un circuit à 50 Ω . Des corrections destinées à prendre en compte les pertes dans les câbles sont nécessaires si V_R et V_i ne sont pas respectivement mesurées à l'entrée et à la sortie des antennes d'émission et de réception. Ce rapport d'affaiblissement de l'emplacement est ensuite divisé par le produit des facteurs d'antenne des deux antennes utilisées. La réponse résultante est le NSA de l'emplacement et il s'exprime en dB. L'emplacement est considéré satisfaisant lorsque les valeurs de NSA vertical et horizontal mesurées sont à ± 4 dB des valeurs données dans les Tableaux E.1, E.2 et E.3, selon le cas. Si le critère de ± 4 dB est dépassé, l'emplacement d'essai doit être vérifié en utilisant l'Article E.4.

NOTE 1 L'Annexe F donne les fondements du critère d'acceptabilité de l'emplacement à 4 dB.

L'écart entre une valeur de NSA mesurée et la valeur théorique ne doit pas être utilisé comme correction du champ mesuré pour un EUT. On doit utiliser cette procédure uniquement pour valider un emplacement d'essai.

Le Tableau E.1 est utilisé pour les antennes à large bande, telles que les antennes biconiques et les réseaux log-périodiques alignés à la fois horizontalement et verticalement par rapport au plan de sol. Le Tableau E.2 est utilisé pour les doublets demi-onde accordés alignés horizontalement par rapport au plan de sol. Le Tableau E.3 est utilisé pour les doublets demi-onde accordés alignés verticalement par rapport au plan de sol. On notera dans le Tableau E.3 la présence de restrictions de hauteur de balayage h_2 . Cela prend en compte le fait que l'extrémité inférieure du doublet de réception est maintenue au minimum à 25 cm du plan de sol.

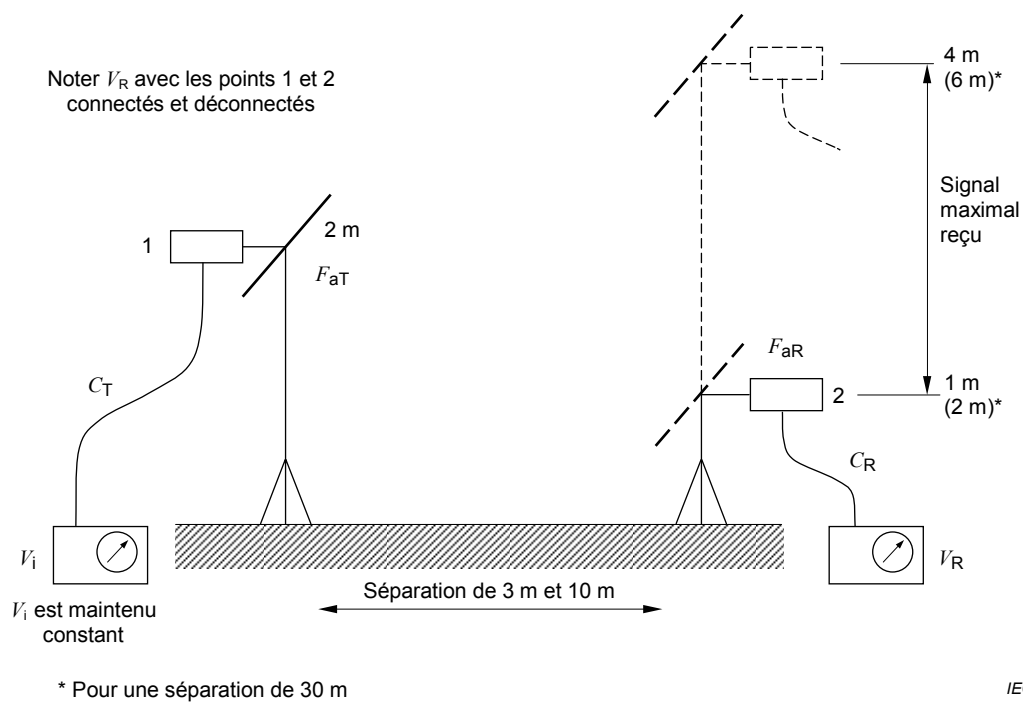
NOTE 2 Les différences entre les Tableaux E.1, E.2 et E.3 sont motivées par le choix de paramètres géométriques différents pour une antenne à large bande et un doublet demi-onde accordé, principalement en raison des restrictions pratiques imposées par ce dernier.

Les valeurs de NSA pour les fréquences autres que celles indiquées dans les Tableaux E.1, E.2 et E.3 peuvent être trouvées par interpolation linéaire des valeurs tabulées.

La légende de chaque tableau est la suivante:

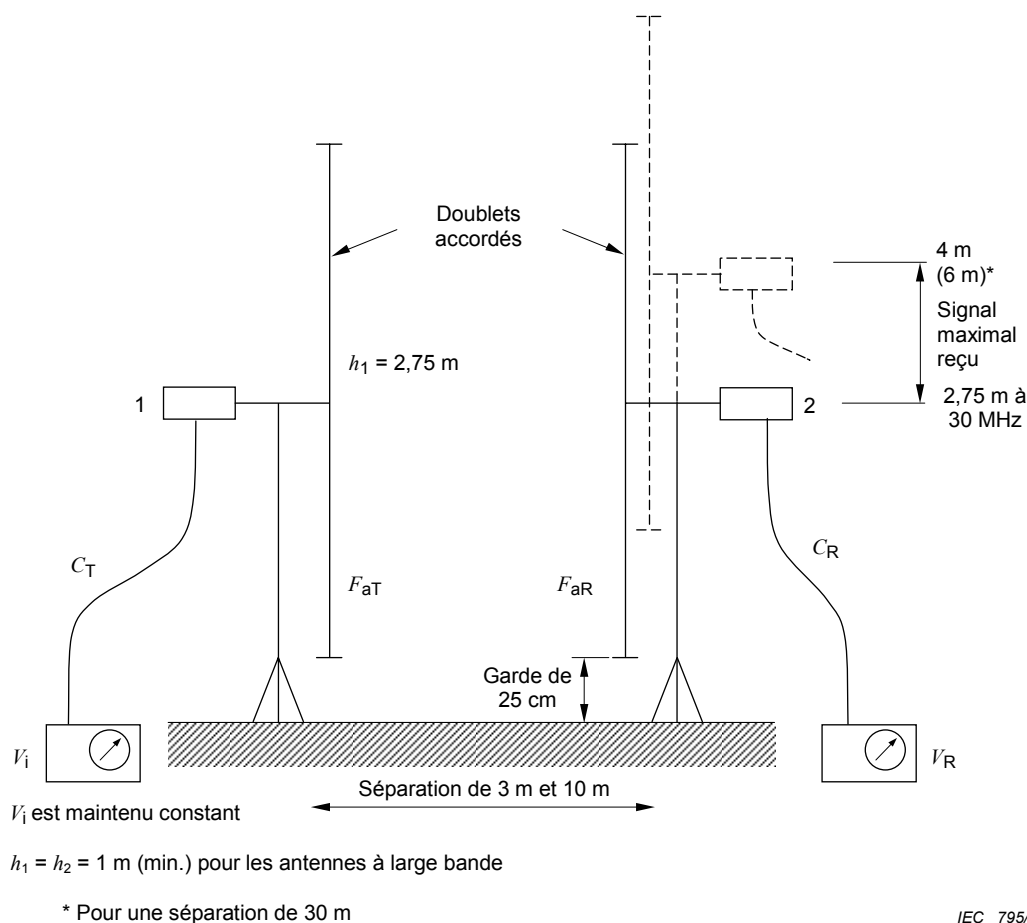
- d distance (m) de séparation horizontale entre les projections des antennes d'émission et de réception sur le plan de sol;
- h_1 hauteur (m) du centre de l'antenne d'émission au-dessus du plan de sol;
- h_2 gamme de hauteurs (m) du centre de l'antenne de réception au-dessus du plan de sol. Le signal maximal reçu dans cette plage de balayage en hauteur est utilisé pour les mesures de NSA;
- f_M fréquence (MHz);
- A_N NSA [voir Équation (6), ci-dessous].

NOTE 3 L'espacement d entre des antennes réseaux log-périodiques est mesuré à partir de la projection sur le plan de sol du point milieu de l'axe longitudinal de chaque antenne.



NOTE Les symboles sont définis en 5.2.6.1 et 5.2.6.2.

Figure 4 – Configuration des équipements pour la mesure en polarisation horizontale de l'affaiblissement de l'emplacement (voir 5.2.6 et Annexe E)



NOTE Les symboles sont définis en 5.2.6.1 et 5.2.6.2.

Figure 5 – Configuration des équipements pour la mesure en polarisation verticale de l'affaiblissement de l'emplacement avec des doublets accordés (voir 5.2.6 et Annexe E)

On recommande de commencer par les mesures horizontales de NSA. Ces mesures étant moins sensibles aux anomalies de l'emplacement que les mesures en polarisation verticale, il convient que le NSA mesuré soit impérativement à moins de ± 4 dB des valeurs données dans les Tableaux E.1, E.2 et E.3. Sinon, contrôler à nouveau la technique de mesure, la dérive des instruments et l'étalonnage des facteurs d'antenne. Si le critère de ± 4 dB est toujours dépassé, on est en présence d'une anomalie importante de l'emplacement dont il convient qu'elle soit clairement apparente, et qu'une action corrective soit entreprise avant d'effectuer la mesure de NSA en polarisation verticale.

5.2.6.2 Mesure générale de NSA

Pour chaque mesure de polarisation, la procédure de NSA nécessite deux mesures différentes de la tension reçue V_R . La première valeur de V_R (V_{DIRECT}) est mesurée avec les deux câbles coaxiaux déconnectés des deux antennes et connectés l'un à l'autre par l'intermédiaire d'un adaptateur. La deuxième valeur de V_R (V_{SITE}) est mesurée avec les câbles coaxiaux reconnectés à leurs antennes respectives et le signal maximal est mesuré lorsque l'antenne de réception est balayée en hauteur (de 1 m à 4 m pour 3 m et 10 m de distance de séparation, et soit de 1 m à 4 m soit de 2 m à 6 m pour une séparation de 30 m). Pour ces deux mesures, la tension de la source de signal V_i est maintenue constante. Ces valeurs sont utilisées dans l'Équation suivante (6) pour le NSA mesuré $A_{N \text{ meas}}$; tous les termes sont en dB.

$$A_{N\text{meas}} = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - F_{aT} - F_{aR} - \Delta F_{a\text{TOT}} \quad (6)$$

où

F_{aT} est le facteur d'antenne d'émission;

F_{aR} est le facteur d'antenne de réception;

$\Delta F_{a\text{TOT}}$ est le facteur de correction d'impédance mutuelle.

Il convient de noter que les deux premiers termes représentent la mesure réelle de l'affaiblissement de l'emplacement, c'est-à-dire que $V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}}$ est égal à la vue classique de l'affaiblissement de l'emplacement qui est formé par la perte d'insertion du trajet de propagation, y compris les propriétés des deux antennes utilisées. Des valeurs théoriques de $\Delta F_{a\text{TOT}}$ sont données dans le Tableau E.4. F_{aT} et F_{aR} doivent être mesurés.

On notera que:

$$V_{\text{DIRECT}} = V_i - C_T - C_R \quad (7)$$

où C_T et C_R sont les pertes des câbles qui n'ont pas besoin d'être mesurées séparément. Le facteur de correction d'impédance mutuelle du Tableau E.4 ne s'applique qu'à la géométrie recommandée pour l'emplacement: une séparation de 3 m avec doublets demi-onde accordés.

Pour effectuer ces mesures de NSA, on peut utiliser deux techniques, selon les instruments disponibles et selon qu'on utilise un doublet à large bande ou un doublet accordé. Les deux méthodes donnent des résultats globalement égaux si elles sont utilisées correctement, comme indiqué à l'Annexe E. Une brève description de chaque méthode est donnée ci-dessous.

a) Méthode de la fréquence discrète

Pour cette méthode, les fréquences spécifiques données aux Tableaux E.1, E.2 ou E.3 sont mesurées successivement. A chaque fréquence, l'antenne de réception est balayée sur la plage de hauteur donnée dans le tableau approprié, pour obtenir un signal reçu maximal. Ces valeurs de paramètres mesurées sont insérées dans l'Équation (6) pour obtenir le NSA mesuré. L'Annexe E suggère une procédure utilisant une approche pour l'enregistrement des données, le calcul du NSA mesuré, et sa comparaison avec le NSA théorique.

b) Méthode par balayage de fréquence

Pour cette méthode, des mesures utilisant des antennes à large bande peuvent être effectuées à l'aide d'appareils de mesure automatiques dotés d'une capacité de maintien de crête (maintien de la valeur maximale), d'une capacité de mémorisation et d'un générateur de poursuite. Dans cette méthode, on déplace l'antenne en hauteur et on balaye en fréquence sur toutes les plages requises. La vitesse de balayage en fréquence doit être beaucoup plus grande que la vitesse de balayage en hauteur de l'antenne. Pour le reste, la procédure est la même qu'au point a). Une procédure détaillée est donnée à l'Annexe E.

5.2.6.3 Détermination des facteurs d'antenne

Des facteurs d'antenne précis sont nécessaires pour la mesure du NSA. En général, les facteurs d'antenne fournis avec l'antenne sont inappropriés, à moins d'être mesurés spécifiquement ou individuellement. Des antennes à polarisation linéaire sont nécessaires. Une méthode utile d'étalonnage des antennes est donnée à l'Annexe E. Les facteurs d'antenne donnés par le fabricant peuvent prendre en compte des pertes dues au symétriseur, entre autres caractéristiques. Si un symétriseur séparé ou des câbles associés solidaires sont utilisés, leurs effets doivent être pris en compte. La formule à utiliser pour les doublets demi-onde accordés est également donnée à l'Annexe E.

5.2.6.4 Écarts d'affaiblissement de l'emplacement

Si les mesures de NSA s'écartent de plus de ± 4 dB, il convient d'abord de contrôler à nouveau plusieurs points:

- a) procédure de mesure;
- b) précision des facteurs d'antenne;
- c) dérive de la source de signal ou précision de l'atténuateur d'entrée du récepteur ou de l'analyseur de spectre; et
- d) lecture.

Si aucune erreur n'est trouvée en a), b) c) et d), c'est l'emplacement qui est en cause et il convient d'effectuer une recherche détaillée des causes possibles de variabilité de l'emplacement. L'Annexe F indique les erreurs pouvant se produire au cours des mesures de NSA.

Il faut noter que la polarisation verticale étant en général la mesure la plus critique, il convient de rechercher les anomalies de l'emplacement en utilisant cette mesure plus sensible, plutôt que les résultats en polarisation horizontale. Les points clés à examiner comprennent:

- 1) la dimension du plan de sol et la non-conformité de sa construction;
- 2) les objets situés à la périphérie de l'emplacement et susceptibles de provoquer une dispersion indésirable;
- 3) la couverture de protection contre les intempéries;
- 4) la discontinuité du plan de sol au niveau de la circonférence de la table tournante lorsque la surface de la table tournante est conductrice et au même niveau que le plan de sol;
- 5) les couvertures de plan de sol en diélectrique épais;
- 6) les ouvertures dans le plan de sol pour cages d'escaliers.

5.3 Aptitude des emplacements d'essai pour les autres emplacements d'essai à plan de sol

5.3.1 Généralités

Il existe beaucoup d'emplacements et d'installations d'essai construits pour mesurer les émissions rayonnées. La plupart sont protégés contre les intempéries et contre les perturbations provoquées par le bruit radioélectrique ambiant. Ceux-ci comportent tous les emplacements d'essai en zone dégagée protégés contre les intempéries et les cages de Faraday tapissées de matériaux absorbants.

Chaque fois qu'un matériau de construction entoure un emplacement d'essai, il existe une possibilité pour que le résultat d'une mesure unique d'affaiblissement normalisé de l'emplacement (NSA), comme spécifiée en 5.2.6, ne suffise pas à démontrer l'aptitude de l'emplacement d'essai.

On recommande la procédure suivante pour évaluer l'aptitude d'un autre emplacement d'essai. Elle est basée sur de multiples mesures de NSA effectuées dans tout le volume occupé par l'EUT. Ces mesures de NSA doivent toutes être comprises dans le bilan d'erreur de ± 4 dB pour que l'emplacement soit estimé apte et équivalent à un emplacement d'essai en zone dégagée.

L'explication de ce paragraphe concerne d'autres emplacements d'essai qui sont munis d'un plan de sol conducteur.

5.3.2 Affaiblissement normalisé d'emplacement pour les autres emplacements d'essai

Pour un autre emplacement d'essai, une mesure unique de NSA est insuffisante pour mettre en évidence les réflexions possibles dues aux matériaux de construction et/ou aux matériaux absorbants RF constituant les murs et le plafond de l'installation. Pour ces emplacements, un « volume d'essai » est défini comme le volume délimité par le plus gros appareil ou système à mesurer, lorsqu'il tourne de 360° autour de sa position centrale, par exemple sur une table tournante. Pour évaluer la polarisation horizontale et verticale, comme illustré sur la Figure 6 et la Figure 7, il peut être nécessaire d'effectuer au maximum 20 mesures distinctes d'affaiblissement de l'emplacement, à savoir cinq positions dans le plan horizontal (centre, droite, gauche, devant, derrière, mesurées par rapport au centre et à une ligne tracée du centre à la position de l'antenne de mesure), pour les deux polarisations (horizontale et verticale) et pour deux hauteurs (1 m et 2 m en polarisation horizontale, 1 m et 1,5 m en polarisation verticale).

Ces mesures sont effectuées avec une antenne à large bande et les distances sont mesurées par rapport au centre de l'antenne. Les antennes d'émission et de réception doivent être alignées, les éléments des antennes étant parallèles les uns par rapport aux autres et perpendiculaires à l'axe de mesure.

Pour la polarisation verticale, les positions excentrées de l'antenne d'émission sont placées à la périphérie du volume d'essai. De plus, l'extrémité la plus basse de l'antenne doit se situer à plus de 25 cm du sol, ce qui peut nécessiter de placer le centre de l'antenne à une hauteur légèrement supérieure à 1 m lors de la mesure à la plus faible hauteur.

Pour les mesures en polarisation horizontale dans les positions droite et gauche, si la distance entre les matériaux de construction et/ou les matériaux absorbants constituant les parois latérales et la périphérie de l'EUT est d'au moins 1 m, le centre de l'antenne est déplacé vers la position centrale, de sorte que la pointe extrême de l'antenne est située à la périphérie ou à une distance de la périphérie ne dépassant pas 10 % du diamètre du volume d'essai. Les positions avant et arrière sont à la périphérie du volume d'essai.

On peut réduire le nombre de mesures nécessaires dans les conditions données ci-dessous.

- a) On peut ne pas effectuer les mesures en polarisation verticale et horizontale pour la position arrière si le point le plus proche des matériaux de construction et/ou du matériau absorbant est situé à une distance supérieure à 1 m de la limite arrière du volume d'essai.

NOTE 1 Il a été montré que les sources d'émission de rayonnement situées au voisinage d'interfaces diélectriques présentaient des variations de distribution de courant qui peuvent affecter les caractéristiques de rayonnement de la source en ces endroits. Lorsque l'EUT peut être situé près de ces interfaces, des mesures supplémentaires d'affaiblissement de l'emplacement sont nécessaires.

- b) Le nombre total de mesures en polarisation horizontale le long du diamètre du volume d'essai, entre les positions droite et gauche peut être réduit au nombre minimal nécessaire pour que les surfaces projetées par l'antenne couvrent 90 % du diamètre.
- c) On peut ne pas effectuer les mesures à 1,5 m de hauteur en polarisation verticale si le point le plus haut de l'EUT, y compris la table de montage, est situé à moins de 1,5 m de hauteur.
- d) Si le volume d'essai est inférieur ou égal à 1 m en profondeur sur 1,5 m en largeur et 1,5 m en hauteur, y compris éventuellement une table, il est seulement nécessaire d'effectuer les mesures en polarisation horizontale pour les positions centre, avant, et arrière, mais aux deux hauteurs de 1 m et 2 m. Si le point a) ci-dessus s'applique, on peut ignorer la position arrière. Cela entraîne un minimum de huit mesures: quatre positions en polarisation verticale (gauche, centre, droit et avant) pour une hauteur et quatre positions en polarisation horizontale (centre et avant) pour deux hauteurs; voir Figure 8 et Figure 9.

Les mesures de NSA doivent être effectuées avec les antennes d'émission et de réception séparées d'une distance constante, conformément aux Tableaux 1 et 2. Noter que ces tableaux ont été modifiés pour s'adapter à ces mesures de NSA, en ajoutant des valeurs pour une nouvelle hauteur de l'antenne d'émission et en limitant le balayage en hauteur

entre 1 m et 4 m pour une distance de 30 m. L'antenne de réception doit être déplacée pour maintenir une distance appropriée le long de la ligne passant par le centre de la table tournante (voir Figures 6, 7, 8 et 9). On considère que l'emplacement d'essai est apte aux mesures de rayonnement si toutes les mesures de NSA prescrites ci-dessus remplissent les exigences de 5.3.3 et si le plan de sol remplit les exigences de 5.3.4 ci-dessous.

NOTE 2 Des études sont en cours pour déterminer si des essais supplémentaires sont nécessaires pour vérifier l'aptitude d'autres emplacements d'essai.

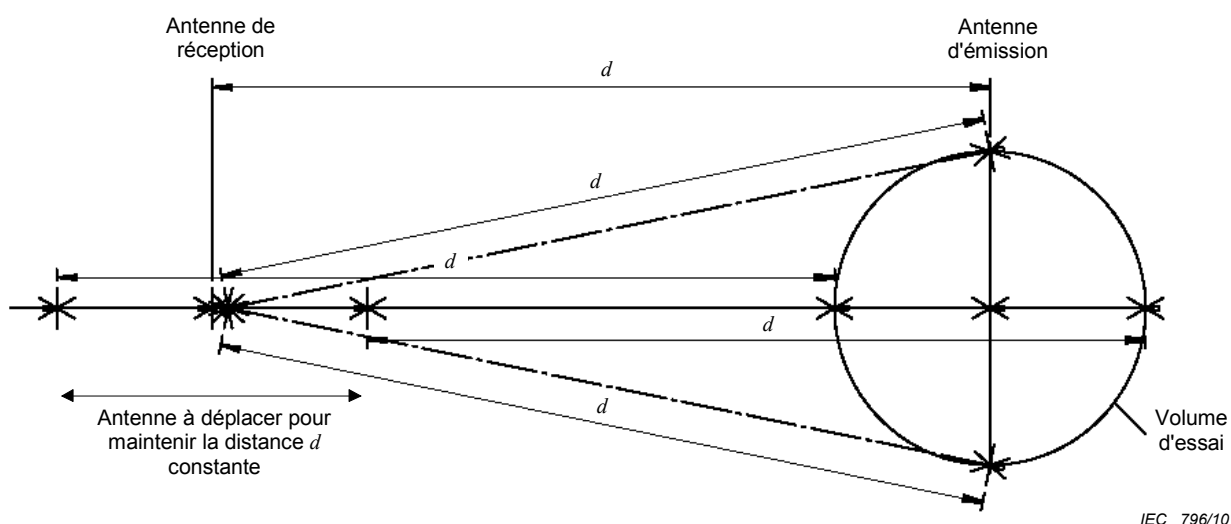


Figure 6 – Positions types d'antenne pour les mesures de NSA en polarisation verticale d'autres emplacements d'essai

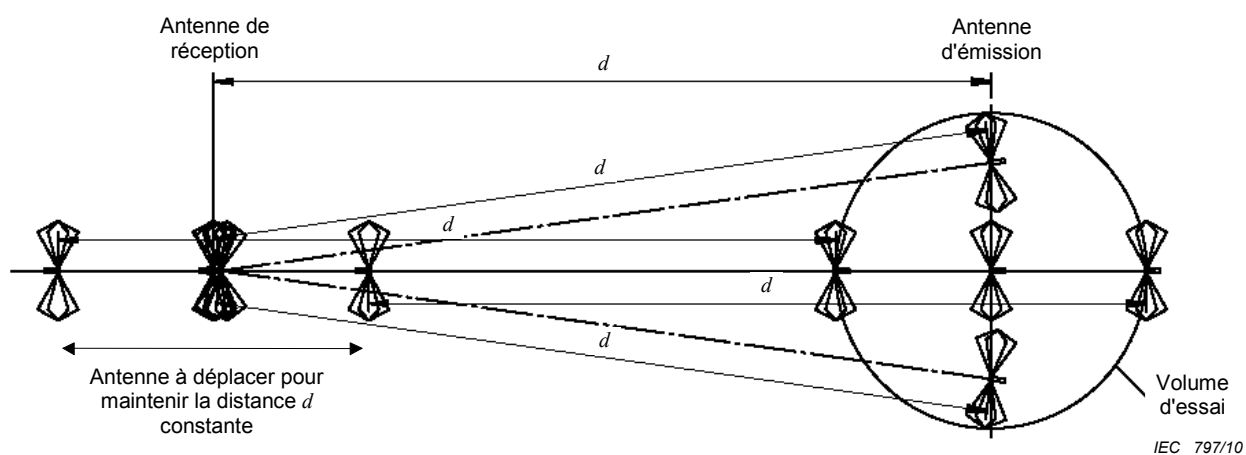
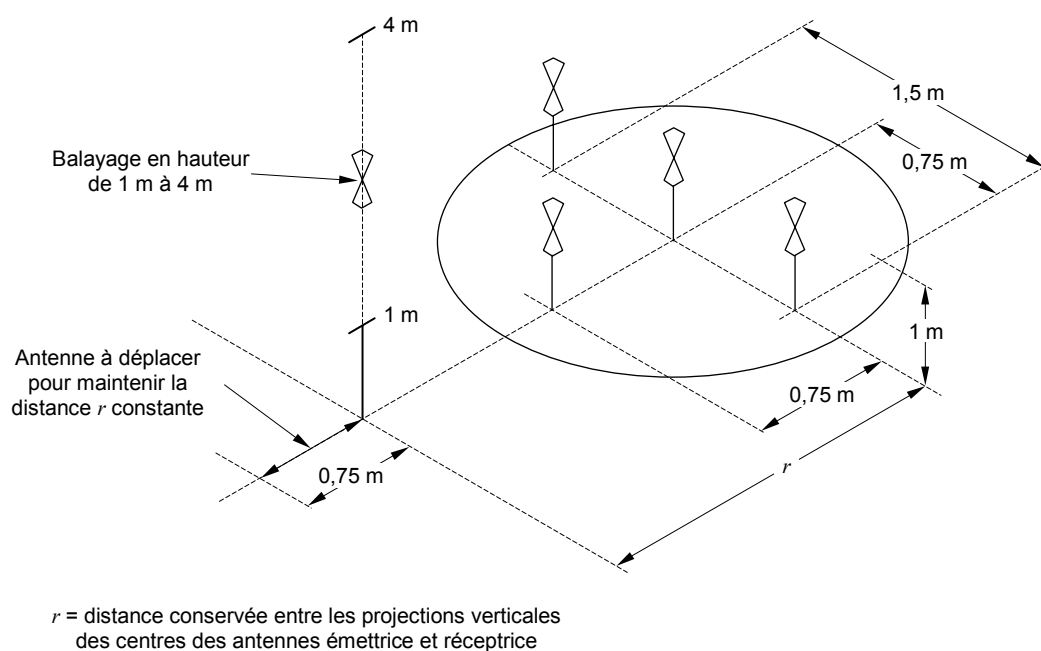


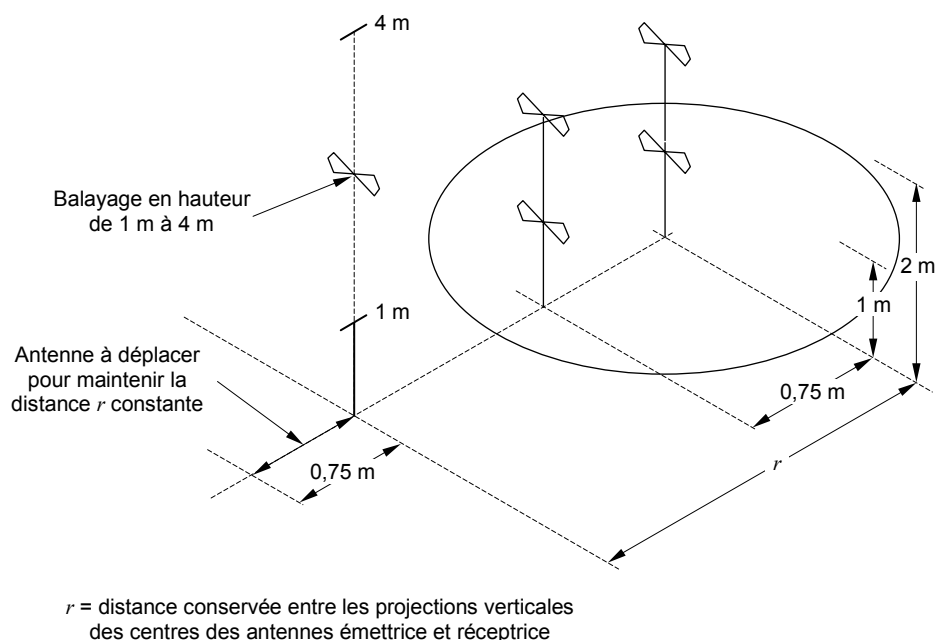
Figure 7 – Positions types d'antenne pour les mesures de NSA en polarisation horizontale d'autres emplacements d'essai



IEC 798/10

NOTE Le volume de l'EUT ne dépasse pas 1 m de profondeur, 1,5 m de largeur et 1,5 m de hauteur, avec la périphérie à plus de 1 m du matériau le plus proche susceptible de provoquer des réflexions indésirables.

Figure 8 – Positions types d'antenne pour d'autres emplacements d'essai – Mesure de NSA en polarisation verticale pour un petit EUT



IEC 799/10

NOTE Le volume de l'EUT ne dépasse pas 1 m de profondeur, 1,5 m de largeur et 1,5 m de hauteur, avec la périphérie à plus de 1 m du matériau le plus proche susceptible de provoquer des réflexions indésirables.

Figure 9 – Positions types d'antenne pour d'autres emplacements d'essai – Mesure de NSA en polarisation horizontale pour un petit EUT

5.3.3 Affaiblissement de l'emplacement

Un emplacement d'essai doit être considéré comme acceptable pour les mesures de champ électromagnétique rayonné si les valeurs de NSA horizontal et vertical mesurées sont à ± 4 dB de l'affaiblissement normalisé d'emplacement théorique pour un emplacement idéal.

5.3.4 Plan de sol conducteur

Les emplacements d'essai pour les mesures de rayonnement doivent être munis d'un plan de sol conducteur. Le plan de sol doit dépasser d'au moins 1 m la périphérie de l'EUT et l'antenne de mesure la plus grande. Il doit couvrir toute la zone située entre l'EUT et l'antenne. Le plan de sol doit être en métal sans trou ni espace de dimensions longitudinales supérieures à un dixième de la longueur d'onde à la fréquence de mesure la plus élevée. Il peut être nécessaire d'utiliser un plan de sol de dimensions supérieures si les mesures de NSA ne satisfont pas au critère de ± 4 dB.

NOTE Des études sont en cours pour savoir s'il est nécessaire de spécifier une dimension minimale du plan de sol.

Tableau 1 – Affaiblissement normalisé d'emplacement (géométries recommandées pour les doublets demi-onde accordés avec polarisation horizontale)

Polarisation	Horizontale	Horizontale	Horizontale
d	3 m	10 m	30 m
h_1	2 m	2 m	2 m
h_2	1 m à 4 m	1 m à 4 m	1 m à 4 m
f_M MHz	A_N dB		
30	11,0	24,1	41,7
35	8,8	21,6	39,1
40	7,0	19,4	36,8
45	5,5	17,5	34,7
50	4,2	15,9	32,9
60	2,2	13,1	29,8
70	0,6	10,9	27,2
80	-0,7	9,2	24,9
90	-1,8	7,8	23,0
100	-2,8	6,7	21,2
120	-4,4	5,0	18,2
140	-5,8	3,5	15,8
160	-6,7	2,3	13,8
180	-7,2	1,2	12,0
200	-8,4	0,3	10,6
250	-10,6	-1,7	7,8
300	-12,3	-3,3	6,1
400	-14,9	-5,8	3,5
500	-16,7	-7,6	1,6
600	-18,3	-9,3	0
700	-19,7	-10,6	-1,4
800	-20,8	-11,8	-2,5
900	-21,8	-12,9	-3,5
1 000	-22,7	-13,8	-4,5

Tableau 2 – Affaiblissement normalisé d'emplacement*
(géométries recommandées pour les antennes à large bande)

Polarisation	Horizontale	Horizontale	Horizontale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale
d	3 m	10 m	30 m	3 m	3 m	10 m	30 m
h_1	1 m	1 m	1 m	1 m	1,5 m	1 m	1 m
h_2	1 m à 4 m	1 m à 4 m	1 m à 4 m	1 m à 4 m	1 m à 4 m	1 m à 4 m	1 m à 4 m
f_M MHz	A_N dB						
30	15,8	29,8	47,8	8,2	9,3	16,7	26,0
35	13,4	27,1	45,1	6,9	8,0	15,4	24,7
40	11,3	24,9	42,8	5,8	7,0	14,2	23,5
45	9,4	22,9	40,8	4,9	6,1	13,2	22,5
50	7,8	21,1	38,9	4,0	5,4	12,3	21,6
60	5,0	18,0	35,8	2,6	4,1	10,7	20
70	2,8	15,5	33,1	1,5	3,2	9,4	18,7
80	0,9	13,3	30,8	0,6	2,6	8,3	17,5
90	-0,7	11,4	28,8	-0,1	2,1	7,3	16,5
100	-2,0	9,7	27	-0,7	1,9	6,4	15,6
120	-4,2	7,0	23,9	-1,5	1,3	4,9	14,0
140	-6,0	4,8	21,2	-1,8	-1,5	3,7	12,7
160	-7,4	3,1	19	-1,7	-3,7	2,6	11,5
180	-8,6	1,7	17	-1,3	-5,3	1,8	10,5
200	-9,6	0,6	15,3	-3,6	-6,7	1,0	9,6
250	-11,7	-1,6	11,6	-7,7	-9,1	-0,5	7,7
300	-12,8	-3,3	8,8	-10,5	-10,9	-1,5	6,2
400	-14,8	-5,9	4,6	-14,0	-12,6	-4,1	3,9
500	-17,3	-7,9	1,8	-16,4	-15,1	-6,7	2,1
600	-19,1	-9,5	0	-16,3	-16,9	-8,7	0,8
700	-20,6	-10,8	-1,3	-18,4	-18,4	-10,2	-0,3
800	-21,3	-12,0	-2,5	-20,0	-19,3	-11,5	-1,1
900	-22,5	-12,8	-3,5	-21,3	-20,4	-12,6	-1,7
1 000	-23,5	-13,8	-4,4	-22,4	-21,4	-13,6	-3,5
* Ces données s'appliquent aux antennes qui sont dégagées d'au moins 25 cm du plan de sol lorsque les centres de ces antennes sont à 1 m au-dessus du plan de sol en polarisation verticale.							

5.4 Aptitude des emplacements d'essai sans plan de sol

5.4.1 Aspects de mesure pour les emplacements d'essai en espace libre constitués par des enceintes blindées entièrement tapissées d'absorbants

Une enceinte blindée entièrement tapissée par des absorbants, appelée également chambre complètement anéchoïque (FAC) ou une enceinte complètement anéchoïque (FAR) peuvent être utilisées pour les mesures des émissions rayonnées. Lorsque la méthode avec FAR est utilisée, des limites d'émissions rayonnées appropriées doivent être définies dans les normes concernées (normes génériques, de produit ou de famille de produits). La conformité aux exigences (limites) de protection des services de radiocommunications doit être établie pour les FAR de la même manière que pour les essais sur un OATS.

Une FAR est destinée à simuler un environnement en espace libre tel que seul le rayonnement direct provenant de l'antenne d'émission ou de l'EUT atteint l'antenne de réception. Toutes les

ondes indirectes et réfléchies doivent être réduites en utilisant un matériau absorbant approprié sur tous les murs, sur le plafond et sur le plancher de la FAR.

5.4.2 Performances d'emplacement

5.4.2.1 Généralités

Les performances d'emplacement peuvent être validées par deux méthodes qui sont décrites ci-dessous, à savoir la méthode d'emplacement de référence et la méthode de NSA.

5.4.2.2 Valeur théorique de l'affaiblissement normalisé de l'emplacement

On trouvera ci-dessous la théorie de NSA pour des antennes infiniment petites.

L'affaiblissement de l'emplacement (A_S , en tant que grandeur en dB) est la perte de transmission mesurée entre les connecteurs de deux antennes à un emplacement particulier. Pour un environnement en espace libre, A_S (en dB) peut être approché en utilisant l'Équation (8) [5]¹⁾:

$$A_S = 20 \log \left(\frac{5Z_0}{2\pi} \times \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) - 20 \log(f_M) + F_{aR} + F_{aT} \quad (8)$$

où

F_{aR}, F_{aT}	sont les facteurs d'antenne des antennes d'émission et de réception (dB/m);
D	est la distance entre les centres de phase des deux antennes (m);
Z_0	est l'impédance de référence (c'est-à-dire 50 Ω);
β	est défini comme correspondant à $2\pi/\lambda$; et
f_M	est la fréquence (MHz).

La valeur théorique de l'affaiblissement normalisé de l'emplacement ($A_{N \text{ theo}}$) en dB est définie comme l'affaiblissement de l'emplacement moins les facteurs d'antenne respectifs; ainsi:

$$A_{N \text{ theo}} = 20 \log \left(\frac{5Z_0}{2\pi} \times \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) - 20 \log(f_M) \quad (9)$$

A des valeurs inférieures à 60 MHz à une distance de 5 m ou à 110 MHz à une distance de 3 m, il est nécessaire d'appliquer des facteurs de correction de champ proche pour chacune des positions d'essai du Tableau 3 pour faire les comparaisons avec le NSA théorique de la Figure 10 et de l'Équation (8). Les facteurs de correction de champ proche sont spécifiques aux antennes, à la distance d'essai et au volume d'essai qui sont utilisés, et sont donc obtenus en utilisant un code de modélisation numérique tel que le NEC (code numérique électromagnétique). En variante, la méthode d'emplacement de référence de 5.4.2.3.2 prévoit l'annulation des termes de champ proche si les mêmes antennes et les mêmes fréquences

¹⁾ Les chiffres entre crochets renvoient à la Bibliographie.

sont utilisées à la fois pour la mesure de référence d'emplacement et pour la validation de la FAR.

Pour des distances de mesure de 10 m et de 30 m, les termes en champ proche de l'Équation (9) peuvent être omis et l'équation est simplifiée comme suit:

$$A_{N\text{theo}} = 20 \log \left(\frac{5Z_0 d}{2\pi} \right) - 20 \log(f_M) \quad (10)$$

Si l'Équation simplifiée (10) est utilisée à la place de l'Équation (8), l'erreur introduite est inférieure à 0,1 dB aux fréquences supérieures à 60 MHz pour une distance de 5 m et supérieure à 110 MHz pour une distance de 3 m. L'erreur sera supérieure à 0,1 dB à des valeurs inférieures à ces fréquences en raison des effets de champ proche. Pour une distance de 3 m, l'erreur maximale est de 1 dB à 30 MHz. Il convient alors d'utiliser l'Équation (8) pour réduire cette erreur.

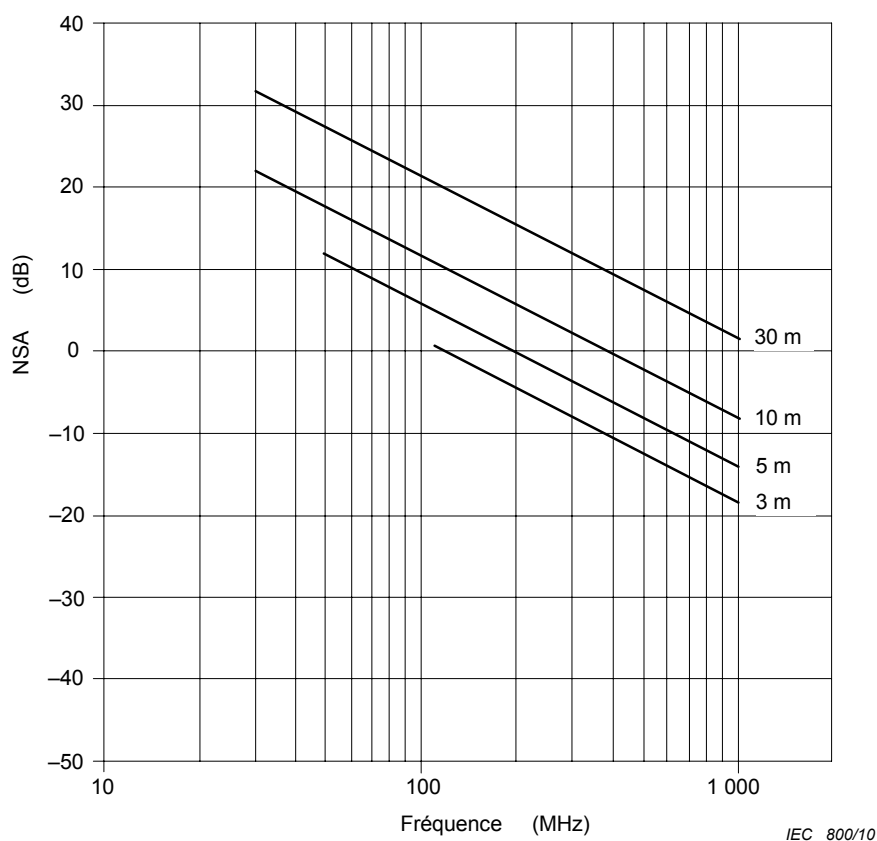


Figure 10 – Graphique du NSA théorique en espace libre en fonction de la fréquence pour différentes distances de mesure (voir Équation (10))

NOTE Les fréquences inférieures à 110 MHz pour les distances de mesure de 3 m et celles inférieures à 60 MHz pour les distances de mesure de 5 m incluent les effets de champ proche. Ceux-ci sont calculés pour chaque emplacement d'essai individuel.

5.4.2.3 Procédure de validation d'emplacement

5.4.2.3.1 Généralités

Le NSA doit satisfaire à l'exigence de 5.4.3 sur un volume d'essai cylindrique généré par la rotation de l'EUT sur la table tournante. Dans ce contexte, « l'EUT » comprend tous les composants d'un EUT à unités multiples ainsi que les câbles d'interconnexion. Le Tableau 3 définit la valeur maximale de hauteur et de diamètre ($h_{\max} = d_{\max}$) du volume d'essai en fonction de la distance d'essai. Ce rapport entre le diamètre et la distance d'essai permet une incertitude acceptable dans les essais d'émission de l'EUT.

Tableau 3 – Dimensions maximales du volume d'essai en fonction de la distance d'essai

Diamètre maximal $d_{\max}$ et hauteur maximale $h_{\max}$ du volume d'essai m	Distance d'essai d_{nominal} m
1,5	3,0
2,5	5,0
5,0	10,0

Une mesure du SA (affaiblissement de l'emplacement) dans une seule position peut ne pas être suffisante pour mettre en évidence les réflexions possibles provenant de la construction de l'enceinte et/ou du matériau absorbant qui tapisse les parois, le plancher, le plafond et la table tournante de la FAR.

Les mesures et la validation du SA dans une enceinte complètement anéchoïque doivent donc être réalisées en quinze positions de mesure, pour les polarisations d'antenne horizontale et verticale de l'antenne d'émission à l'intérieur du volume d'essai (voir Figure 11):

- à trois hauteurs du volume d'essai: en bas, au milieu et en haut;
- 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 arrière peut être omise si la distance qui la sépare des absorbants est supérieure à 0,5 m. Au cours des essais des EUT, la position arrière sur la table tournante est également tournée vers l'avant et la contribution de la réflexion arrière n'affectera donc pas le signal maximal.

Deux antennes à large bande doivent être utilisées pour les mesures de SA: une antenne d'émission avec son point de référence aux positions de mesure du volume d'essai et une antenne de réception à l'extérieur de ce volume d'essai avec une orientation et une position prescrites. L'antenne d'émission doit avoir un diagramme dans le plan H approximativement omnidirectionnel.

NOTE 1 Il convient que la dimension maximale ne dépasse pas 40 cm pour une distance d'essai de 3 m; à des distances plus importantes, la taille de l'antenne peut être ajustée en conséquence.

Les antennes de réception types sont des antennes hybrides (combinaison biconique/LPDA) pour les valeurs comprises entre 30 MHz et 1 000 MHz ou des antennes séparées [antennes biconiques (entre 30 MHz et 200 MHz) et antennes LPDA (entre 200 MHz et 1 000 MHz)].

NOTE 2 Il n'est pas recommandé d'utiliser une antenne hybride (combinaison biconique/LPDA) que ce soit pour les essais en émission ou pour la validation de la chambre à une distance de 3 m, en raison de la taille physique importante de telles antennes.

Ce sont les mêmes antennes, câbles, ferrites, atténuateurs ainsi que le même amplificateur, le même générateur de signal et le même récepteur utilisés pour mesurer le SA de la FAR qui doivent être utilisés pour mesurer le SA de référence de l'emplacement d'essai en quasi espace libre (5.4.2.3.3). L'antenne de réception utilisée au cours de la validation de l'enceinte doit être du même type d'antenne que celle utilisée au cours des essais des émissions rayonnées de l'EUT.

Pour la validation du volume d'essai, à la fois en polarisation horizontale et en polarisation verticale et pour toutes les positions des antennes d'émission à l'intérieur du volume d'essai, la position en hauteur de l'antenne de réception dans la FAR doit être réglée et doit rester au niveau du milieu fixé du volume d'essai, comme cela est représenté aux Figures 11 et 12. Il doit être nécessaire d'incliner les antennes pour aligner l'axe de pointage des deux antennes dans un seul axe de mesure. La distance entre le point de référence de l'antenne (défini dans l'étalonnage de l'antenne) et la position avant du volume d'essai est d_{nominal} . Lorsque l'antenne d'émission est déplacée vers d'autres positions à l'intérieur du volume d'essai, l'antenne de réception doit être déplacée le long de l'axe de mesure pour maintenir d_{nominal} . L'axe de mesure est la ligne entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception, le long de laquelle d_{nominal} est définie. Pour toutes les positions et toutes les polarisations, l'antenne de réception et l'antenne d'émission doivent se faire face, les éléments des deux antennes étant parallèles (pour l'inclinaison, voir la Figure 12). Les mâts d'antenne et les planchers de support doivent être en place au cours de la procédure de validation.

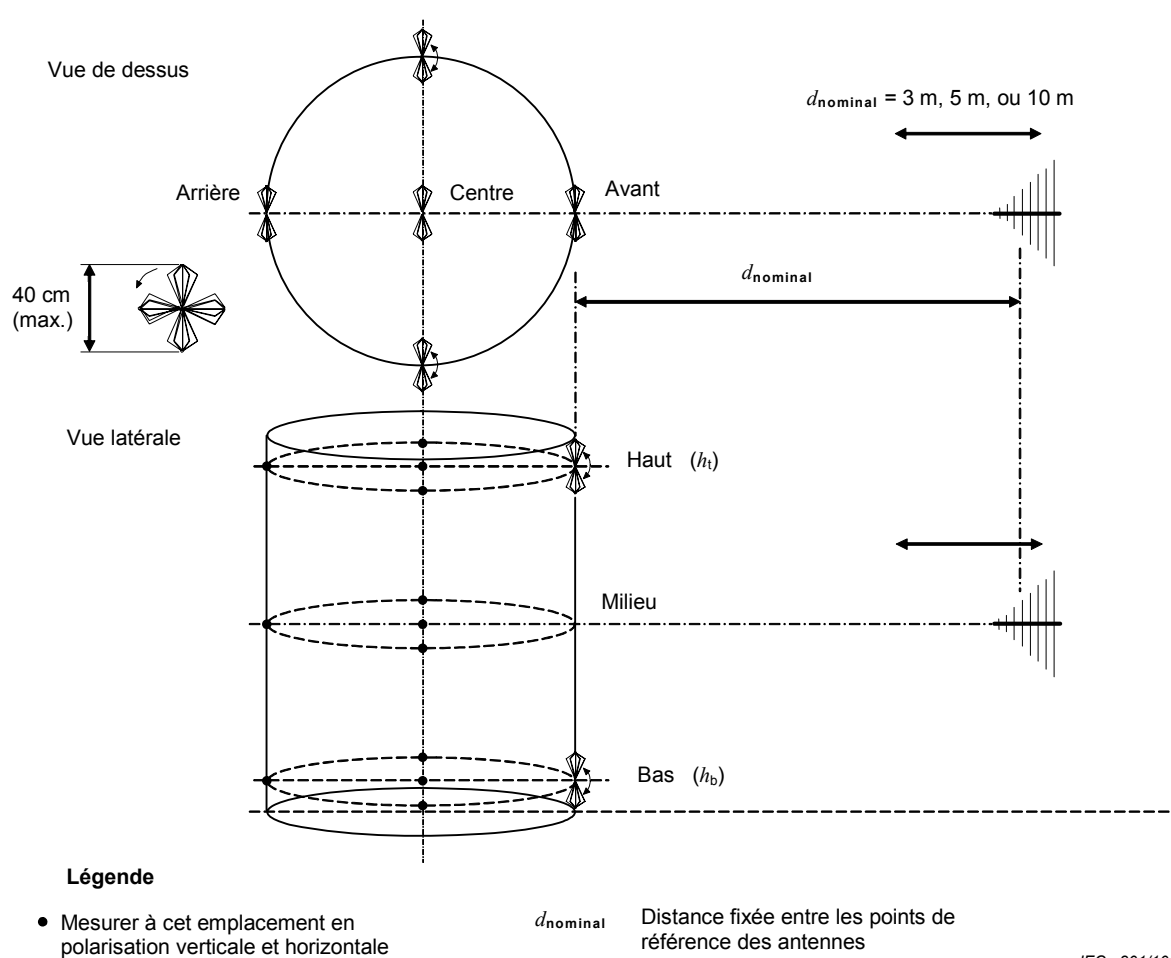


Figure 11 – Positions de mesure pour la procédure de validation de l'emplacement

Pour toutes les positions de l'antenne d'émission à l'intérieur du volume d'essai, à la fois en polarisation horizontale et en polarisation verticale, les antennes d'émission et de réception doivent être alignées sur l'axe de mesure.

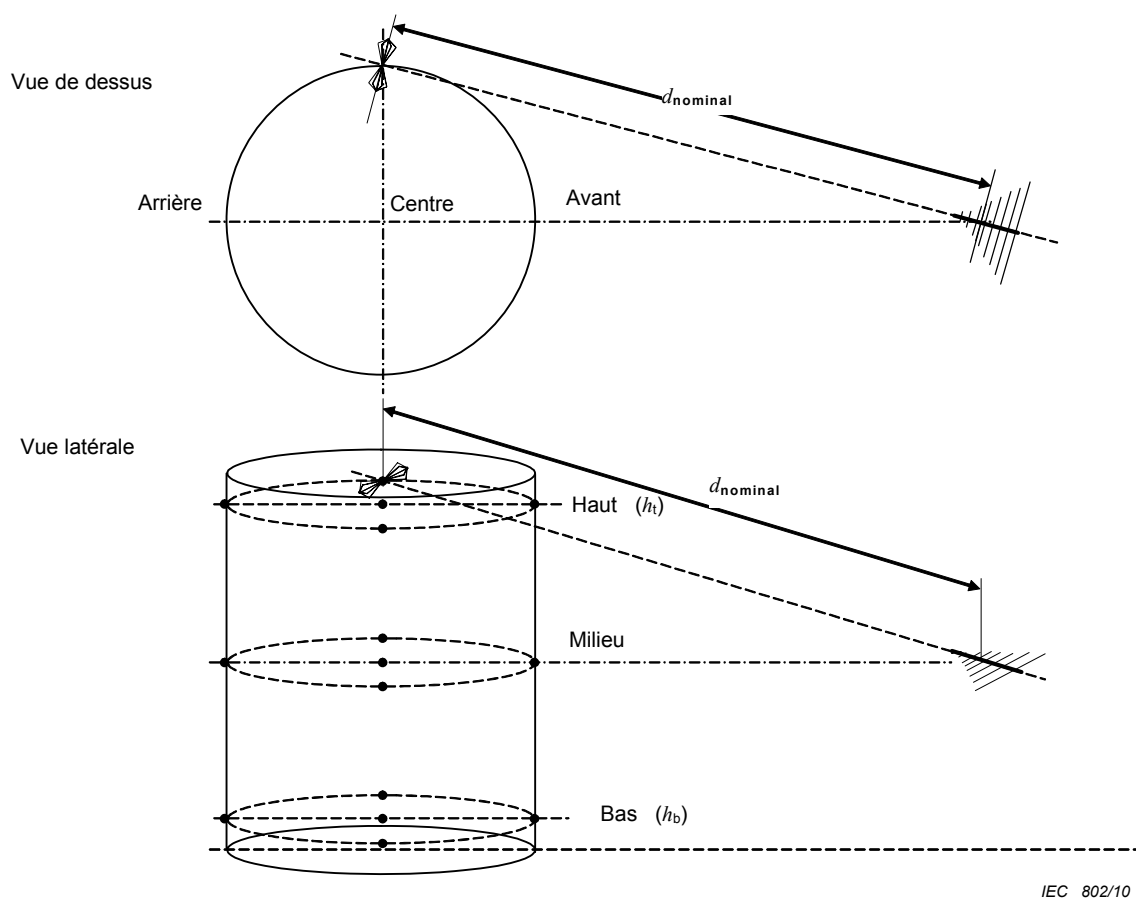
L'inclinaison des antennes est nécessaire pour satisfaire à cette exigence pour certaines positions (voir Figure 12).

d_{nominal} { est la distance d'essai associée à la limite;
est la distance fixée dans la procédure de validation;
est la séparation entre les antennes lors de la procédure d'étalonnage.

La position de l'antenne d'émission en hauteur à l'intérieur du volume d'essai doit être déterminée comme suit:

- « Milieu » lorsque cela est possible le long d'un axe virtuel positionné à mi-hauteur et à mi-largeur de la FAR;
- « Haut (h_t) » et « Bas (h_b) » par la moitié de $h_{\max}$ (voir Tableau 3) moins la moitié de la dimension de l'antenne d'émission (par exemple 20 cm pour les petites antennes biconiques.)

Ces positions réglées doivent être utilisées à la fois pour les polarisations verticale et horizontale. La distance entre les plans haut et bas et les absorbants du plafond et du plancher est respectivement donnée par les performances de l'absorbant telles qu'elles sont déterminées par l'essai volumétrique de NSA mais doit être d'au moins 0,5 m pour éviter un couplage entre l'EUT et l'absorbant.



NOTE Antenne à polarisation horizontale, position en haut à droite.

Figure 12 – Exemple de position de mesure et d'inclinaison d'antenne pour la procédure de validation de l'emplacement

La taille maximale de pas pour la mesure de la fréquence discrète doit correspondre à ce qui suit au Tableau 4:

Tableau 4 – Gammes de fréquences et tailles de pas

Gamme de fréquences MHz	Pas de fréquence maximal MHz
30 à 100	1
100 à 500	5
500 à 1 000	10

Deux méthodes sont admissibles pour la validation de l'emplacement:

- une méthode d'emplacement de référence qui est exigée pour les distances d'essai inférieures à 5 m;
- la méthode de NSA qui est préférée pour les distances d'essai supérieures ou égales à 5 m.

Les méthodes de mesure du SA sont destinées à assurer un écart de 0 dB lorsqu'elles sont réalisées sur un emplacement idéal. Il est admis d'appliquer n'importe quelle méthode pour réduire l'incertitude de mesure tant qu'elle ne vient pas en contradiction du montage et des procédures définies ou qu'elle ne masque pas des déficiences de l'emplacement, par exemple des résonances lissées.

L'incertitude de la mesure de validation de l'emplacement peut être réduite par les mesures suivantes.

- Dans le cas d'une antenne à polarisation verticale, les câbles blindés doivent être étendus sur au moins 2 m à l'arrière de chaque antenne avant de descendre sur le sol. Si cela est possible, les câbles doivent revenir au droit des passages de câbles au travers du mur de l'enceinte. Une autre possibilité consiste à utiliser des ferrites à pince sur les câbles. Un autre moyen pour réduire l'influence des câbles consiste à utiliser des liaisons optiques.
- Des atténuateurs au niveau des connecteurs d'antenne (par exemple 6 dB ou 10 dB) réduiront l'influence de toute désadaptation importante d'impédance au niveau des antennes.
- On doit utiliser des antennes présentant un bon équilibrage du symétriseur (le récepteur lisant des variations inférieures à $\pm 0,5$ dB lorsque l'antenne subit une rotation de 180° par rapport à son axe de pointage. Les méthodes pour la vérification de l'équilibrage de l'antenne sont décrites en 4.5.3).
- Il est admis d'utiliser des antennes biconiques et LPDA séparées pour l'évaluation de la chambre (on change de type d'antenne à 200 MHz), si elles sont utilisées pour les essais des EUT. Une antenne hybride (combinaison biconique/LPDA) est une combinaison de ces deux types et peut également être utilisée si les dimensions mécaniques sont suffisamment petites pour la distance de mesure.

La procédure de validation d'emplacement de la FAR doit être réalisée à intervalles réguliers, pour détecter des variations à long terme des caractéristiques de l'enceinte, et lorsque des modifications interviennent, qui pourraient influencer sur les caractéristiques de transmission des ondes électromagnétiques dans la FAR.

5.4.2.3.2 Méthode d'emplacement de référence

Des mesures du SA avec la paire d'antennes (antenne d'émission et antenne de réception) sur un emplacement d'essai en quasi espace libre sont exigées comme référence. La procédure de détermination de cet affaiblissement d'emplacement de référence ($A_{S \text{ ref}}$) est décrite en 5.4.2.3.3. Cette méthode prend en compte le couplage mutuel des antennes et des effets de champ proche qui peuvent avoir une influence importante à des distances d'essai de 3 m. L'affaiblissement d'emplacement de référence $A_{S \text{ ref}}(d)$ est effectué à la distance nominale, d_{nominale} , entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception.

La procédure de validation de l'emplacement pour chaque position du volume d'essai est réalisée en trois étapes comme suit.

- 1) M_0 est le niveau de référence mesuré par le récepteur en dB (μ V), les câbles étant connectés entre eux, normalement effectué une fois avant une série d'essais volumétriques.
- 2) M_1 est le niveau mesuré par le récepteur en dB (μ V) avec les antennes installées.

L'affaiblissement d'emplacement de l'emplacement validé $A_{S\text{ val}}$ peut être calculé par

$$A_{S\text{ val}} = M_0 - M_1 \quad \text{en dB} \quad (11)$$

- 3) L'écart de l'affaiblissement d'emplacement mesuré (ΔA_S) par rapport à l'affaiblissement d'emplacement de référence $A_{S\text{ ref}}(d)$ est calculé en utilisant l'Équation (12).

$$\Delta A_S = A_{S\text{ ref}}(d) - A_{S\text{ val}} \quad \text{en dB} \quad (12)$$

5.4.2.3.3 Détermination de la référence d'emplacement

Pour des validations d'emplacement précises à des distances inférieures à 5 m, il est recommandé d'utiliser des paires d'antennes dédiées pour déterminer la référence d'emplacement (antenne d'émission et de réception). Un emplacement d'essai en quasi espace libre est exigé. Il est constitué de 2 mâts d'antenne non métalliques (en bois ou en plastique avec $\varepsilon_r \leq 2,5$, à faibles pertes, de diamètre aussi petit que possible compte tenu de la résistance mécanique), qui permettent de placer les antennes à une certaine hauteur au-dessus du niveau du sol (Figure 13). Une méthode possible de réalisation de la performance de ± 1 dB de l'emplacement de référence consiste à choisir la hauteur (h) des antennes comme suit:

$$h \geq d \times \frac{8}{3} \quad (13)$$

où d est la séparation entre les antennes.

Une hauteur de $h = d \times 8/3$ est recommandée pour supprimer l'influence du sol, ou des absorbants en quantité substantielle, qui fonctionnent jusqu'à 30 MHz, doivent être placés sur le sol.

NOTE Avec une séparation de 3 m à 30 MHz, il existe un terme en champ proche important ($1/d^2$) qui à lui seul contribue à une erreur de 0,8 dB pour une hauteur de 5/3. Cela a été vérifié par les organismes de mesure nationaux britanniques et autrichiens. Pour une référence d'emplacement avec une incertitude inférieure à $\pm 0,5$ dB, une hauteur de 8/3 est recommandée si aucun absorbant n'est placé sur le sol.

La distance doit être égale à la distance réelle d_{nominal} entre les antennes utilisées dans la FAR. Les antennes sont polarisées verticalement (la polarisation horizontale ne doit pas être utilisée à cause des interférences plus importantes avec le signal réfléchi par le sol). On obtient également une bonne approximation de l'espace libre. L'espace dégagé par rapport aux bâtiments, aux arbres etc. doit être supérieur à $d \times 8/3$ car il peut y avoir une influence sur les antennes à polarisation verticale.

On doit veiller à ce que les câbles d'alimentation de l'antenne n'affectent pas le résultat de l'essai. Cela est évité au mieux en utilisant l'aménagement de câbles représenté à la Figure 13 ou en utilisant des liaisons optiques RF.

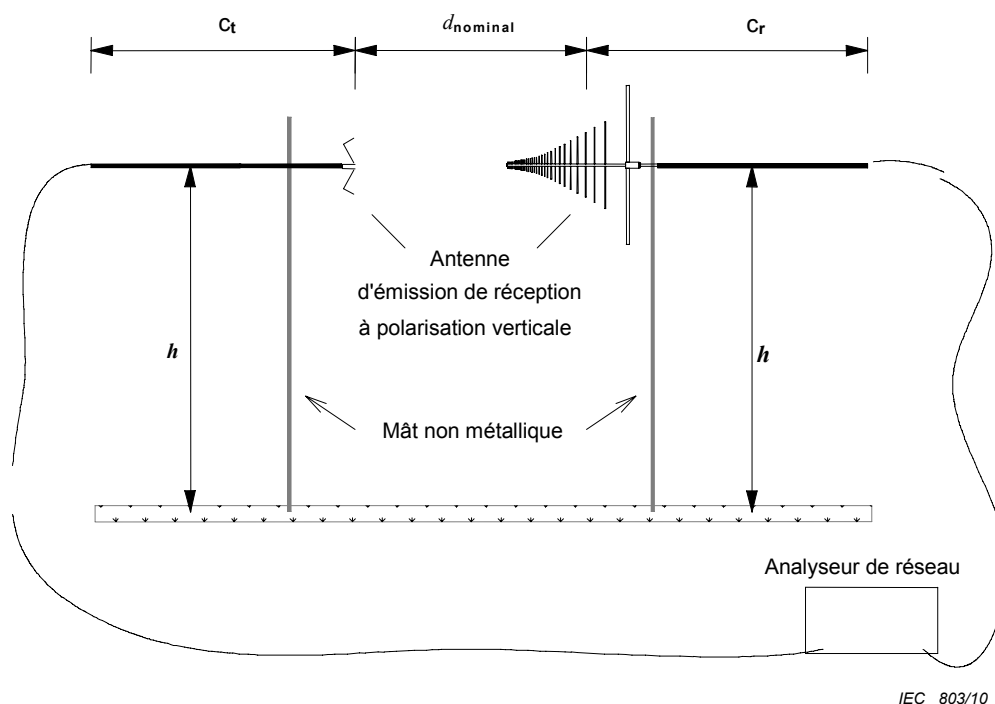
La qualité du montage de référence influence directement le résultat d'évaluation de la FAR.

L'affaiblissement d'emplacement de référence ($A_{S\text{ ref}}$) est déterminé en trois étapes comme suit.

- 1) M_{0RS} est le niveau de référence mesuré par le récepteur en dB (μV) avec les câbles connectés ensemble.
- 2) $M_{1RS}(d)$ est le niveau mesuré par le récepteur en dB (μV) avec les antennes installées à la distance exigée $d_{nominal}$.
- 3) Le $A_{Sref}(d)$ est calculé selon l'Équation (14).

$$A_{Sref}(d) = M_{0RS} - M_{1RS}(d) \text{ en dB} \quad (14)$$

Pour une validation d'emplacement de 3 m, une hauteur d'au moins 4 m au-dessus du sol doit être utilisée, ce qui constitue une fonctionnalité type des mâts d'antenne contrôlables à distance qui sont utilisés pour les mesures des émissions. Dans ce cas, des absorbants électromagnétiques doivent être placés sur le sol entre les antennes, avec l'ensemble des absorbants s'étendant sur une zone minimale au-delà des antennes dans toutes les directions et il faut prouver que la condition de quasi espace libre telle qu'elle est définie en 5.4.1 est satisfaite. Pour la validation d'emplacement avec $d > 3$ m, on utilise l'équation $h > d \times 8/3$ ou un autre montage dont il a été démontré qu'il satisfaisait à l'affaiblissement d'emplacement de référence de ± 1 dB.



Légende

$d_{nominal}$	distance de validation
h	hauteur de l'antenne au-dessus d'un plan de sol ou au-dessus du niveau du sol
C_t, C_r	câbles d'alimentation coaxiaux pour antennes d'émission et de réception orientées horizontalement à l'arrière de l'antenne pour une distance physiquement aussi proche que possible de 2 m. Dans une FAR, placer les câbles horizontalement dans la mesure du possible, de préférence droits à travers un trou dans le mur de la chambre ou utiliser une fibre optique connectée à une liaison optique RF sur la sortie de l'antenne.

NOTE L'affaiblissement d'emplacement de référence est obtenu séparément pour toutes les configurations de la Figure 13.

Figure 13 – Montage de mesure de l'affaiblissement d'emplacement de référence type en espace libre

5.4.2.3.4 Méthode du NSA

Les facteurs d'antenne en espace libre de l'antenne d'émission et de réception sont nécessaires pour cette procédure. La validation d'emplacement pour chaque position de mesure est réalisée en quatre étapes comme suit.

- 1) M_0 est le niveau de référence mesuré par le récepteur avec les câbles connectés ensemble.
- 2) M_1 est le niveau mesuré par le récepteur avec les antennes installées.
- 3) Le NSA mesuré ($A_{N\text{ meas}}$) est calculé en dB selon l'Équation (15)

$$A_{N\text{ meas}} = M_0 - M_1 - F_{aT} - F_{aR} \text{ en dB} \quad (15)$$

où F_{aT} et F_{aR} sont les facteurs d'antenne en espace libre en dB/m.

- 4) L'écart ΔA_N est calculé en dB selon l'Équation (16)

$$\Delta A_N = A_{N\text{ meas}} - A_{N\text{ theo}} \quad (16)$$

où $A_{N\text{ theo}}$ est calculé en utilisant l'Équation (10), et ΔA_N est comparé au critère de NSA applicable, par exemple ± 4 dB, donné en 5.4.3.

NOTE La distance d entre les points de référence des antennes d'émission et de réception (définie par l'étalonnage d'antenne) est utilisée comme d_{nominal} . La distance effective entre les antennes varie avec la fréquence en raison des positions de leurs centres de phase. La perte de transmission est compensée par le rapport entre la distance effective et d_{nominal} .

5.4.3 Critères de validation d'emplacement

Un emplacement de mesure doit être conforme aux exigences suivantes:

- les écarts du SA ou du NSA [(Équation (12) ou Équation (16))] doivent être inférieurs à ± 4 dB à la fois pour la polarisation horizontale et la polarisation verticale et pour chaque position de mesure et chaque fréquence de mesure;
- le bilan d'incertitude de l'évaluation d'emplacement selon les recommandations de la CISPR 16-4-2 doit être consigné et il doit avoir les mêmes composants que ceux nécessaires pour les mesures de champ sur d'autres emplacements d'essai avec plan de sol.

5.5 Évaluation de la table d'essai et du pylône d'antenne

5.5.1 Généralités

Une table d'essai, comme décrite à l'Article D.5, positionne l'EUT de façon type pour des mesures d'intensité de champ. La forme, les éléments de construction et la permittivité du matériau de la table d'essai peuvent influencer les résultats de mesure de l'intensité de champ (voir [2], [6], [7], [10]). Le paragraphe suivant (à savoir, 5.5.2) décrit une procédure pour déterminer l'influence de la table d'essai pour la gamme de fréquences de 30 MHz à 18 GHz et pour estimer sa contribution aux incertitudes sur les mesures d'intensité de champ. Une évaluation doit être réalisée pour toute table d'essai dont la hauteur dépasse 0,15 m.

NOTE Seule la polarisation horizontale d'une antenne d'émission située au-dessus de la table d'essai est utilisée pour l'évaluation. La polarisation horizontale, par opposition à la polarisation verticale, prend en compte les effets les plus défavorables de la table.

Le pylône d'antenne ne nécessite aucune évaluation supplémentaire car tous les effets de perturbation seront inclus dans la mesure de NSA (voir 5.2.6) et dans la mesure de S_{VSWR} (voir 8.3).

5.5.2 Procédure d'évaluation de l'influence de la table d'essai

Pour évaluer l'influence de la table d'essai, deux mesures de transmissions sont effectuées, l'une avec la table d'essai présente et l'autre sans la table d'essai. Pendant les deux mesures, une antenne d'émission est maintenue dans une disposition spécifique. La différence entre les résultats de mesure, avec et sans la table d'essai, fournit une estimation de l'influence causée par la table d'essai. La procédure de mesure est la suivante.

La table d'essai doit être placée dans une position type sur l'emplacement d'essai avec la dimension la plus grande (c'est-à-dire la diagonale pour une table d'essai avec un dessus rectangulaire, ou le rayon pour une table avec un dessus circulaire) orientée dans la direction de l'antenne de réception (voir Figure 14).

Pour les fréquences allant jusqu'à 1 GHz, on doit utiliser une petite antenne biconique dont la longueur totale est inférieure à 0,40 m. Pour les fréquences supérieures à 1 GHz, on doit utiliser une antenne conforme à 8.3.3.1 (par exemple un doublet à large bande).

Voir la Figure 14 et la Figure 15 pour le placement de l'antenne d'émission. L'antenne doit être placée au-dessus de la table d'essai en polarisation horizontale en respectant une distance de 0,1 m entre la surface de la table et le point de référence de l'antenne (symétriseur). L'antenne doit être positionnée avec son point de référence à mi-chemin entre le centre et le bord du dessus de la table d'essai, dans la direction de l'antenne de réception. Un générateur de signal doit alimenter l'antenne. Les antennes d'émission et de réception doivent être alignées, les éléments des antennes étant parallèles les uns par rapport aux autres et perpendiculaires à l'axe de mesure. Pendant la mesure, les échelons de fréquence doivent être inférieurs ou égaux à 0,5 % de la plus haute fréquence utilisée. La tension de l'antenne de réception doit se situer au moins à 20 dB au-dessus du niveau de bruit de l'équipement de mesure. L'influence du câblage peut être minimisée en utilisant des câbles de grande longueur ou en utilisant des tubes de ferrite. Le placement des câbles horizontalement vers l'arrière à 2 m au minimum est généralement suffisant. D'une manière ou d'une autre, l'influence doit être définie comme négligeable si la tension de réception ne varie pas de plus de 0,3 dB lorsque l'emplacement du câble est décalé de plus de 0,5 m par rapport à sa position initiale.

EXEMPLE Un câble avec tubes de ferrite est placé horizontalement sur une distance de 1,6 m. Pour vérifier l'influence du câble, le câble est replacé pour tomber de manière verticale d'un point situé à 2,1 m de la connexion à l'antenne. L'intensité du champ est ensuite à nouveau mesurée pour déterminer si l'influence n'est pas supérieure à 0,3 dB.

Le but est qu'il n'y ait pas de modifications dans le montage de mesure sauf concernant la présence ou l'absence de la table. L'antenne d'émission et son câble assurant la connexion avec le générateur de signal doivent être maintenus de telle manière qu'ils conservent des positions identiques dans l'espace avec et sans la table. Un mât, un trépied ou un pylône tel qu'il est utilisé pendant les mesures de NSA ou de S_{VSWR} doit être utilisé pour soutenir l'antenne d'émission et le câble.

Les hauteurs d'antenne et les distances doivent être comme suit:

- Pour toutes les fréquences, la distance entre les antennes de réception et d'émission doit être comme exigé pour la mesure des perturbations rayonnées.
- À 1 GHz ou à une valeur inférieure, les mesures doivent être réalisées de 200 MHz au minimum jusqu'à 1 GHz. Dans un OATS ou une SAC, la hauteur de l'antenne de réception doit être balayée comme exigé dans la mesure des perturbations rayonnées (généralement entre 1 m et 4 m). Dans une FAR, l'antenne de réception doit être fixée à la hauteur exigée pour la mesure des perturbations rayonnées.

NOTE Lorsqu'on applique cette procédure de vérification, l'influence de la table d'essai est négligeable en dessous de 200 MHz.

- Au-dessus de 1 GHz, des mesures doivent être réalisées sur la même gamme de fréquences (par exemple, de 1 GHz à 18 GHz) et la hauteur d'antenne doit être réglée comme exigé pour la mesure des perturbations rayonnées (par exemple, de 1 m à 4 m).

L'amplitude de la différence entre les deux résultats de mesure à chaque échelon de fréquence, indiquée comme $\Delta(f)$ et exprimée en dB, doit être calculée en utilisant l'Équation (17).

$$\Delta(f) = |V_{R,with}(f) - V_{R,without}(f)| \quad (17)$$

où

$V_{R,with}(f)$ est la tension maximale au niveau de l'antenne de réception à une fréquence spécifique, exprimée en dB (μV), mesurée en présence de la table d'essai;

$V_{R,without}(f)$ est la tension maximale au niveau de l'antenne de réception à une fréquence spécifique, exprimée en dB (μV), mesurée en l'absence de la table d'essai.

L'amplitude maximale de la différence entre les deux résultats de mesure enregistrés sur la gamme de fréquences, écrite sous la forme Δ_{max} et exprimée en dB, doit être utilisée comme écart maximal estimé. Le calcul doit être effectué selon l'Équation (18).

$$\Delta_{max} = \max |V_{R,with}(f) - V_{R,without}(f)| \quad (18)$$

L'incertitude type u_{table} induite par la table d'essai est estimée en supposant une distribution rectangulaire pour la différence maximale mesurée Δ_{max} . Ainsi, u_{table} (en dB) peut être calculée en utilisant l'Équation (19).

$$u_{table} = \frac{1}{\sqrt{3}} \Delta_{max} \quad (19)$$

La valeur u_{table} doit être mesurée et prise en compte dans le bilan d'incertitude (voir la CISPR 16-4-2) dans les gammes de fréquences suivantes:

- 200 MHz à 1 GHz;
- 1 GHz à 6 GHz;
- 6 GHz à 18 GHz.

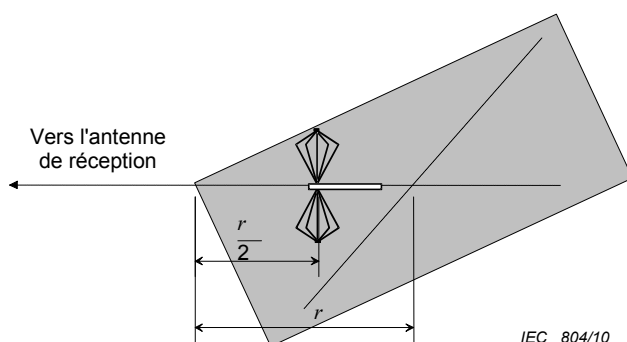


Figure 14 – Position de l'antenne par rapport au bord au-dessus d'une table d'essai rectangulaire (vue de dessus)

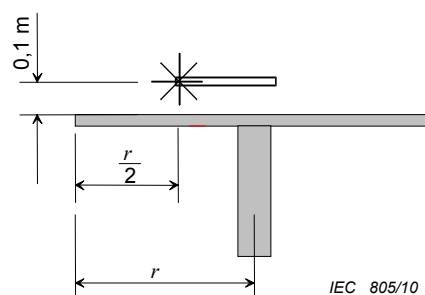


Figure 15 – Position de l'antenne au-dessus de la table d'essai (vue de côté)

NOTE La construction et le type des matériaux utilisés pour la table d'essai varieront d'un laboratoire d'essai à l'autre. Il suffit de déterminer la valeur la plus défavorable de Δ (ou $V_{R,with}$) dans la détermination de u_{table} .

6 Chambre de réverbération pour la mesure de la puissance totale rayonnée

6.1 Généralités

La mesure de la puissance rayonnée totale est considérée comme un paramètre significatif pour la maîtrise des perturbations de certains types d'appareils fonctionnant dans la gamme des hyperfréquences, en raison de l'existence de diagrammes de rayonnement tridimensionnels complexes qui dépendent des conditions de fonctionnement et d'environnement de l'appareil. Elle peut être mesurée en plaçant l'appareil dans une chambre adaptée, à parois métalliques. Des agitateurs rotatifs sont installés pour éviter des effets d'ondes stationnaires qui pourraient dans le cas contraire produire une distribution non uniforme de la densité d'énergie par rapport à la position dans la chambre. La densité d'énergie dans une position quelconque de la chambre, sous réserve de forme, position et dimensions convenables, varie de manière aléatoire en phase, amplitude et polarisation selon une loi de distribution statistique constante.

6.2 Chambre

6.2.1 Dimensions et forme de la chambre

Les dimensions linéaires de la chambre doivent être grandes par rapport à la longueur d'onde de la plus basse fréquence considérée. La chambre doit également être suffisamment grande pour recevoir l'appareil en essai, les agitateurs et les antennes de mesure. Les dimensions d'un appareil hyperfréquence varient de celles d'un petit four de table ayant un volume d'environ 0,2 m³ à celles de grands appareils de 1,7 m de hauteur sur une base de 760 mm. La chambre peut avoir n'importe quelle forme, à condition que ses trois dimensions soient du même ordre. Il convient que ces trois dimensions soient, de préférence, différentes. Si la fréquence la plus basse est de 1 GHz, la chambre doit avoir un volume d'au moins 8 m³. Les dimensions réelles dépendent des caractéristiques physiques de la chambre. Voir 6.2.4 pour les méthodes d'essais d'aptitude de la chambre.

Les murs et les agitateurs doivent être métalliques. Les joints entre les éléments métalliques doivent être robustes et avoir une faible résistance électrique sur toute leur longueur, et doivent être exempts de corrosion superficielle. Aucun matériau absorbant, tel que du bois, ne doit être placé dans la chambre.

6.2.2 Porte, ouvertures dans les parois et équerres de montage

La porte de l'enceinte doit être suffisamment grande pour permettre le passage des opérateurs et des appareils. Elle doit s'ouvrir vers l'extérieur et fermer convenablement pour minimiser les pertes d'énergie. Pour faciliter le montage des antennes d'émission et de réception à l'intérieur de la chambre, des équerres de montage peuvent être fixées aux murs.

6.2.3 Agitateurs

6.2.3.1 Généralités

Deux exemples d'agitateurs sont ici décrits. D'autres formes sont autorisées à condition que l'efficacité d'agitation satisfasse aux critères de 6.2.4.

6.2.3.2 Pales tournantes

Si on utilise des pales tournantes, deux d'entre elles sont placées sur des parois adjacentes de la chambre et séparées des parois d'au moins 1/4 de la longueur d'onde maximale utilisée et sont d'une épaisseur suffisante pour être rigides. Elles doivent avoir la longueur maximale autorisée compte tenu des dimensions des parois et leur largeur doit être d'environ 1/5 de leur longueur.

6.2.3.3 Aubes tournantes

Si des aubes tournantes sont utilisées, deux ou trois aubes sont montées sur les parois de la chambre. Les aubes doivent être à angle droit les unes par rapport aux autres. Elles peuvent avoir la forme illustrée à la Figure 16, et tourner autour d'un axe parallèle à leur longueur. Le diamètre de l'espace tubulaire balayé doit être au moins égal à la longueur d'onde maximale utilisée, et les longueurs doivent avoir la valeur maximale autorisée compte tenu des dimensions des parois. Leur structure doit être rigide.

Dimensions en millimètres

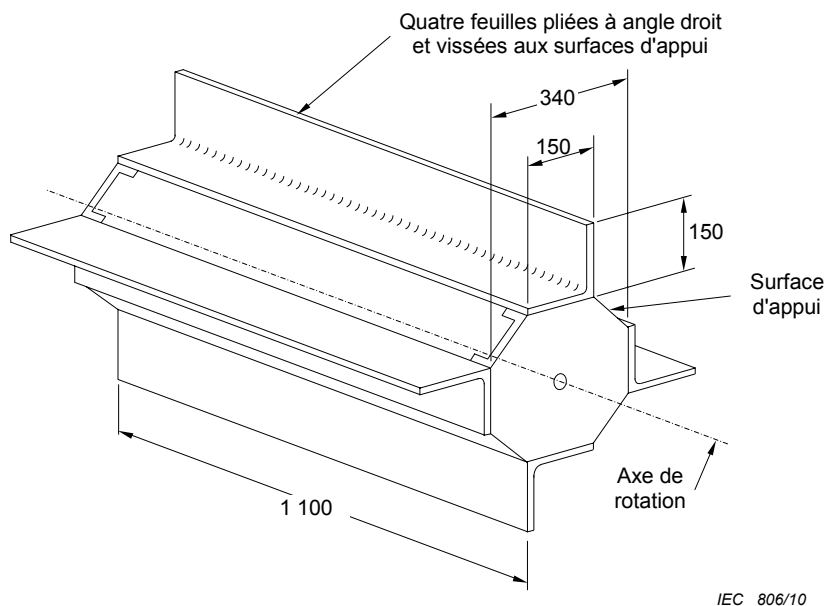


Figure 16 – Exemple d'agitateur à aubes type

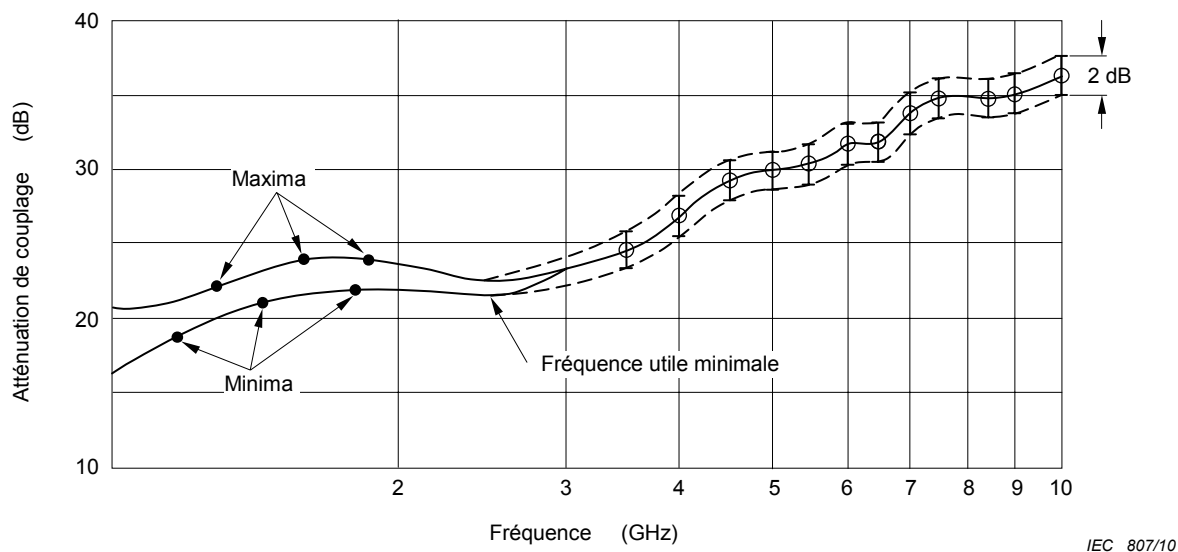
6.2.3.4 Vitesse de rotation

La vitesse de rotation de chaque agitateur doit être différente. La durée maximale de chaque rotation des agitateurs doit être inférieure à 1/5 du temps d'intégration de l'appareil de mesure. Une vitesse convenable pour l'appareil de mesure décrit en 6.2.5 est de 50 r/min à 200 r/min. Il convient que les moteurs utilisés pour faire tourner les agitateurs, ainsi que leurs réducteurs, soient de préférence situés à l'extérieur des parois de la chambre.

6.2.4 Essai de rendement des agitateurs

La distribution uniforme désirée de l'énergie dans la chambre est indiquée par la régularité de la variation de l'affaiblissement de couplage (décrit en 6.2.5) en fonction de la fréquence. Aux basses fréquences, en raison des longueurs d'onde plus grandes, il est plus difficile d'obtenir cette uniformité et il existe des minimums et maximums prononcés. Plus l'efficacité des agitateurs est grande, plus l'écart entre ces minimums et maximums est faible, et donc plus la fréquence utilisable est basse.

L'affaiblissement de couplage est mesuré sur toute la gamme de fréquences utile de la chambre. Aux fréquences basses auxquelles on peut observer les maximums et minimums, les valeurs doivent être mesurées à des intervalles d'environ 100 MHz. L'antenne de réception reste alors fixe, on fait tourner l'antenne d'émission par intervalles de 45° et on répète l'essai pour chaque position et chaque fréquence. L'essai complet doit être de nouveau répété, l'antenne de réception étant tournée de 90°. On considère que les agitateurs sont satisfaisants lorsque: (1) l'enveloppe de la courbe des minimums et maximums ne dépasse pas 2 dB pour n'importe quelle position de l'antenne d'émission, et lorsque (2) la moyenne des quatre courbes est comprise dans une enveloppe de 2 dB ou moins. Un résultat type est illustré à la Figure 17.



NOTE Il est recommandé que tous les points mesurés se situent dans l'enveloppe de 2 dB marquée en tirets.

Figure 17 – Gamme d'affaiblissement de couplage en fonction de la fréquence pour une chambre utilisant l'agitateur de la Figure 16

6.2.5 Affaiblissement de couplage

L'affaiblissement de couplage de la chambre est la perte d'insertion mesurée entre les bornes des antennes de réception et d'émission de la chambre. Un générateur de mesure étalonné dont la puissance de sortie peut être mesurée avec précision est utilisé pour alimenter une antenne d'émission à faible perte (par exemple une antenne cornet) située dans la chambre ou sur une paroi de la chambre. Une antenne de réception peut être placée en n'importe quel point de la chambre, à condition qu'elle soit au moins à $1/4$ de longueur d'onde des murs et qu'elle ne soit pas dirigée vers l'antenne d'émission, ou vers la paroi de la chambre la plus proche, ou alignée sur l'un des axes de la chambre.

Un amplificateur RF à faible bruit est connecté à l'antenne de réception par l'intermédiaire d'un filtre passe-haut; sa sortie est connectée à un détecteur à diode par l'intermédiaire d'un filtre passe-bande. Le filtre passe-bande doit être accordé à la fréquence concernée et avoir la largeur de bande spécifiée. La sortie du détecteur est connectée à un voltmètre de crête à temps de maintien de crête spécifié (ce temps de maintien dépend de l'appareil mesuré). Un analyseur de spectre peut également être utilisé pour cette mesure. La puissance P fournie à l'antenne d'émission est notée. Le générateur de signal est ensuite connecté à l'entrée de l'amplificateur à faible bruit et sa puissance de sortie, p , est réglée afin d'indiquer la même lecture sur le voltmètre. La puissance fournie à l'amplificateur à faible bruit est notée. L'affaiblissement de couplage est donné par $10 \log (P/p)$ dB.

7 Cellules TEM pour les mesures d'immunité aux perturbations rayonnées

Les mesures d'immunité aux rayonnements peuvent être effectuées dans des guides d'onde TEM en utilisant les méthodes spécifiées dans la CEI 61000-4-20.

8 Emplacements d'essai pour la mesure des champs radioélectriques perturbateurs dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz

8.1 Généralités

L'emplacement d'essai doit correspondre à des conditions d'absence de réflexions. Il peut être nécessaire d'utiliser des matériaux absorbants et/ou d'augmenter la hauteur de l'EUT pour atteindre ces conditions d'espace libre.

NOTE Dans le cas d'appareils en essai destinés à reposer sur le sol, il se peut que les conditions d'absence de réflexion ne soient pas satisfaites près du sol.

8.2 Emplacement d'essai de référence

L'emplacement d'essai de référence doit être un emplacement d'essai en zone dégagée en espace libre (FSOATS) avec des précautions pour s'assurer que les réflexions n'influencent pas la mesure.

NOTE Le FSOATS constitue le concept de l'emplacement d'essai. Une approximation pratique en est un FAR satisfaisant aux exigences de validation indiquées ci-dessous.

8.3 Validation de l'emplacement d'essai

8.3.1 Généralités

Un emplacement d'essai doit être considéré comme acceptable pour des mesures de champ électromagnétique rayonné entre 1 GHz et 18 GHz, s'il satisfait au critère donné en 8.3.2; 8.3.3 fournit la procédure de validation de l'emplacement. Dans l'objectif de réaliser des essais par rapport aux normes du CISPR, les mesures de validation d'emplacement doivent être réalisées depuis 1 GHz jusqu'à la fréquence maximale utilisée dans l'installation d'essai; la fréquence maximale doit être au moins de 2 GHz.

Les emplacements d'essai utilisés pour les mesures entre 1 GHz et 18 GHz doivent avoir une conception qui minimise l'influence des réflexions sur le signal reçu, par exemple une chambre anéchoïque. Si l'emplacement d'essai n'est pas conçu pour fournir des conditions totalement anéchoïques, par exemple une chambre semi-anéchoïque, l'utilisation d'un matériau absorbant pour couvrir une partie du plan de sol métallique est nécessaire, comme décrit ci-dessous.

Dans les cas pour lesquels le volume d'essai s'étend depuis le sol conducteur de l'installation jusqu'au-dessus de l'EUT, comme cela peut être le cas pour les installations destinées à soumettre aux essais des EUT posés au sol, des absorbants doivent être placés comme nécessaire dans le volume d'essai pour la validation. Pour satisfaire aux essais d'équipements posés au sol, qui ne peuvent pas être positionnés au dessus du plan de sol, l'éclairage du volume d'essai sur une hauteur allant jusqu'à 30 cm peut être occulté par des absorbants placés sur le plan de sol.

Pendant l'essai en émission d'un EUT posé au sol, les absorbants de sol utilisés pendant la validation de l'emplacement peuvent être retirés dans la proximité immédiate (empreinte au sol) de l'EUT, et jusqu'à 10 cm autour de l'empreinte au sol de l'EUT.

Dans les installations pour lesquelles le volume d'essai est au dessus de la hauteur de l'absorbant, comme cela est le cas des installations utilisées pour soumettre aux essais des équipements placés sur table, l'absorbant peut être placé sous le volume d'essai à la fois pour la validation de l'emplacement et les essais des équipements. Des photographies montrant la configuration des absorbants de l'emplacement et la localisation des antennes d'émission-réception doivent être incluses dans le rapport de validation d'emplacement.

La validation de l'emplacement est effectuée par des mesures du rapport appelé rapport d'ondes stationnaires en tension de l'emplacement (S_{VSWR}). La méthode de validation d'emplacement évalue un volume d'essai donné pour une combinaison spécifique d'emplacement, d'antenne de réception, de distance d'essai (décrite dans la CISPR 16-2-3), et du matériau absorbant placé si nécessaire sur le plan de sol afin de satisfaire au critère de 8.3.2.

Les influences du mat de l'antenne de réception, disposé de la même manière que pour les essais de validation d'emplacement, ainsi que les objets fixés de manière permanente dans le volume d'essai (tels qu'une table tournante installée à demeure), sont déterminées par la présente procédure de validation d'emplacement et incluses dans celle-ci. Il n'est pas nécessaire que les objets amovibles tels qu'une table d'essai amovible soient présents pendant les essais de validation de l'emplacement, si leur influence doit être déterminée séparément par les procédures supplémentaires du Paragraphe 5.4 de la présente norme.

La CISPR 16-2-3 fournit une description de la méthode de mesure de l'EUT utilisée pour les essais à des fréquences comprises entre 1 GHz et 18 GHz. Le but de la procédure de mesure du S_{VSWR} est de vérifier l'influence des réflexions incidentes potentielles sur un EUT, de dimensions et de forme arbitraires, placé dans le volume d'essai, et déterminée en utilisant cette procédure.

Le S_{VSWR} est le rapport entre le signal maximal reçu et le signal minimal reçu, dû à l'interférence entre les signaux direct (intentionnel) et réfléchis, soit

$$S_{VSWR} = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (20)$$

où

$E_{\max}$ et $E_{\min}$ sont les signaux maximaux et minimaux reçus, et

$V_{\max}$ et $V_{\min}$ sont les tensions mesurées correspondantes lorsqu'un récepteur ou un analyseur de spectres est utilisé pour la réception.

Dans les procédures qui suivent, les grandeurs exprimées en décibels (dB) sont généralement utilisées pour les mesures et les calculs. Dans ce cas, S_{VSWR} est donné par

$$S_{VSWR,dB} = 20 \log \left(\frac{V_{\max}}{V_{\min}} \right) = 20 \log \left(\frac{E_{\max}}{E_{\min}} \right) = V_{\max,dB} - V_{\min,dB} = E_{\max,dB} - E_{\min,dB} \quad (21)$$

NOTE 1 Lorsqu'on utilise des décibels, $S_{VSWR,dB}$ peut être pris comme la différence entre les signaux reçus maximaux et minimaux, exprimés en dBm, en dB (μV) ou en dB (μV/m), selon l'appareil ou le détecteur de signal utilisé.

NOTE 2 La valeur du S_{VSWR} ou du $S_{VSWR,dB}$ est calculée séparément à partir des signaux maximaux et minimaux obtenus à chaque fréquence et polarisation, pour un jeu de six mesures, comme cela est décrit en 8.3.3.

8.3.2 Critère d'acceptation pour la validation de l'emplacement

Le S_{VSWR} est directement lié aux influences des réflexions non désirées. Le critère d'acceptation pour la validation d'emplacement de 1 GHz à 18 GHz est:

$$S_{VSWR} \leq 2:1, \text{ ou } S_{VSWR,dB} \leq 6,0 \text{ dB},$$

pour S_{VSWR} mesuré conformément aux procédures de 8.3.3.

8.3.3 Procédures de validation de l'emplacement – évaluation de S_{VSWR}

8.3.3.1 Exigences relatives à l'antenne

8.3.3.1.1 Généralités

Pour éclairer toutes les surfaces réfléchissantes pendant cet essai, et pour simuler d'éventuels gains d'antennes faiblement directionnelles, comme cela se présente avec de nombreux EUT réels, ce paragraphe donne des critères concernant l'équipement utilisé pendant l'essai de S_{VSWR} . Des données fournies par le fabricant peuvent être utilisées pour déterminer si les exigences sur l'appareillage d'essai sont satisfaites.

8.3.3.1.2 Équipement d'essai pour la procédure S_{VSWR} standard (c'est-à-dire 8.3.3.3)

8.3.3.1.2.1 Généralités

L'antenne de réception doit être polarisée linéairement, et elle doit être du même type que celle utilisée pour les mesures d'émissions de l'EUT. Pour l'antenne d'émission, l'angle de référence à 0° relatif aux spécifications du diagramme est l'angle pour lequel l'antenne fait face à l'antenne de réception (plans d'ouverture parallèles); celui-ci est également estimé être la direction de la « ligne de visée » Θ_B .

L'antenne utilisée comme source d'émission doit être polarisée linéairement et doit avoir un diagramme de rayonnement semblable à celui d'un doublet, avec les caractéristiques détaillées suivantes. Les données du diagramme de rayonnement doivent être disponibles avec un pas de fréquence inférieur ou égal à 1 GHz.

NOTE On suppose que l'antenne satisfait également aux exigences aux autres fréquences utilisées pour l'essai de S_{VSWR} .

8.3.3.1.2.2 Diagramme de rayonnement dans le plan E de l'antenne d'émission

Un diagramme de rayonnement dans le plan E pour une antenne avec une polarisation linéaire simple peut être mesuré à l'un des multiples plans de coupe possibles (angle azimutal constant) autour de la sphère de rayonnement. Le plan de coupe pour les mesures du diagramme doit être sélectionné par le fabricant de l'antenne et doit être décrit dans le rapport de caractérisation de l'antenne. Un choix pratique est généralement le plan contenant le connecteur et le cheminement du câble.

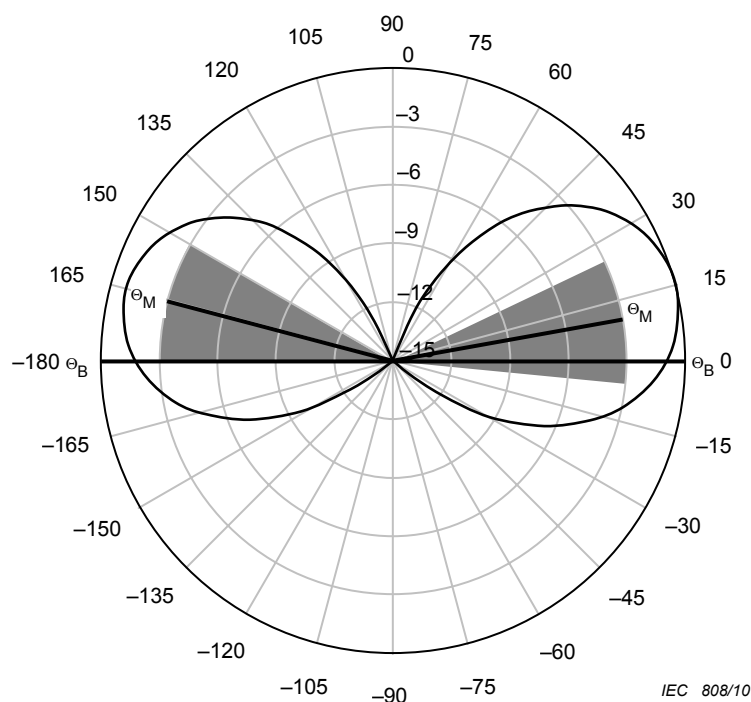
- Choisir une direction de lobe principal, désignée par Θ_M pour les cotés droit et gauche de chaque diagramme. Θ_M doit être respectivement compris entre $0^\circ \pm 15^\circ$ et $180^\circ \pm 15^\circ$.
- Dessiner la zone réputée interdite symétrique par rapport aux directions des lobes principaux des deux côtés du diagramme²⁾ où l'amplitude est ≤ -3 dB pour $\pm 15^\circ$.

NOTE Cette limite garantit un diagramme régulier dans la région de la ligne de visée, ainsi qu'un comportement omnidirectionnel acceptable.

- Le diagramme dans le plan E ne doit pas entrer dans la zone interdite.

La Figure 18 montre un exemple de diagramme de rayonnement qui satisfait aux exigences précédentes du plan E .

²⁾ Cette limite garantit un diagramme régulier dans la région de la ligne de visée, ainsi qu'un comportement omnidirectionnel acceptable.



NOTE Le tracé exemple est pour une antenne qui satisfait aux exigences du plan *E* du présent paragraphe. Les directions des lobes principaux, Θ_M , pour les côtés droit et gauche de chaque diagramme sont respectivement comprises entre $0^\circ \pm 15^\circ$ et $180^\circ \pm 15^\circ$. Les zones grisées représentent les « zones interdites » où l'amplitude serait ≤ 3 dB pour $\pm 15^\circ$ de chacun des lobes principaux. Le diagramme d'antenne ne pénètre pas dans la zone interdite.

Figure 18 – Exemple de diagramme de rayonnement dans le plan *E* d'une antenne d'émission (à titre informatif uniquement)

8.3.3.1.2.3 Diagramme de rayonnement dans le plan *H* de l'antenne d'émission

Il n'y a qu'un plan possible dans lequel on peut mesurer le diagramme dans le plan *H* d'une antenne doublet, qui est le plan orthogonal à l'axe du doublet et qui passe par le centre du doublet. Ce plan peut inclure un symétriseur, un connecteur d'entrée et le câble d'entrée, selon qu'on utilise un câble métallique ou une fibre optique. Le fabricant de l'antenne doit décrire le montage utilisé pour mesurer les diagrammes de rayonnement dans le compte rendu d'essais de l'antenne, y compris les positions du câble d'alimentation et du connecteur.

- Moyenner les données du diagramme de rayonnement (en dB) au dessus de la plage de $\pm 135^\circ$ (0° est l'angle de la ligne de visée, Θ_B). La taille maximale d'incrément pour les données de ce diagramme est de 5° dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 6 GHz et de 1° de 6 GHz à 18 GHz.
- Le diagramme ne doit pas s'écarter de plus des valeurs suivantes par rapport à la valeur moyennée de $\pm 135^\circ$:

Plage d'angle	1 GHz à 6 GHz	6 GHz à 18 GHz
-60° à 60°	± 2 dB	± 3 dB
-60° à -135° , 60° à 135°	± 3 dB	± 4 dB
-135° à -180° , 135° à 180°	$< +3$ dB	$< +4$ dB

NOTE Bien qu'aucune limite inférieure du diagramme dans le plan *H* à l'extérieur de $\pm 135^\circ$ ne soit spécifiée, il est souhaitable que celui-ci ne présente pas de zéro à $\pm 180^\circ$, mais soit le plus omnidirectionnel possible. Il convient de suivre le cas échéant les directives données par le fabricant d'antenne relatives au cheminement du câble d'alimentation et au positionnement du mât de l'antenne, pour minimiser l'influence éventuelle de ces éléments sur le diagramme dans le plan *H*, à l'extérieur de $\pm 135^\circ$.

La Figure 19 montre un exemple de diagramme de rayonnement satisfaisant aux exigences précédentes relatives au plan H .

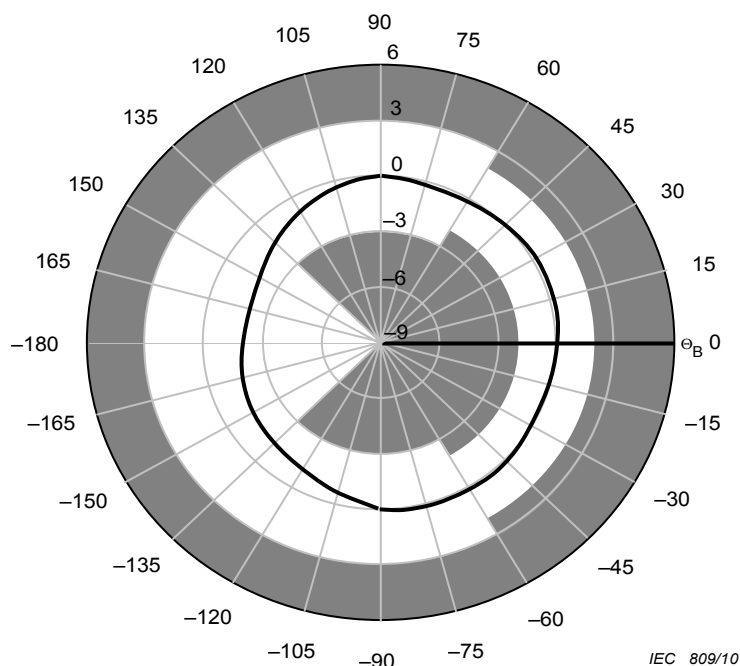


Figure 19 a – Diagramme de rayonnement dans le plan H d'une antenne d'émission – 1 GHz à 6 GHz

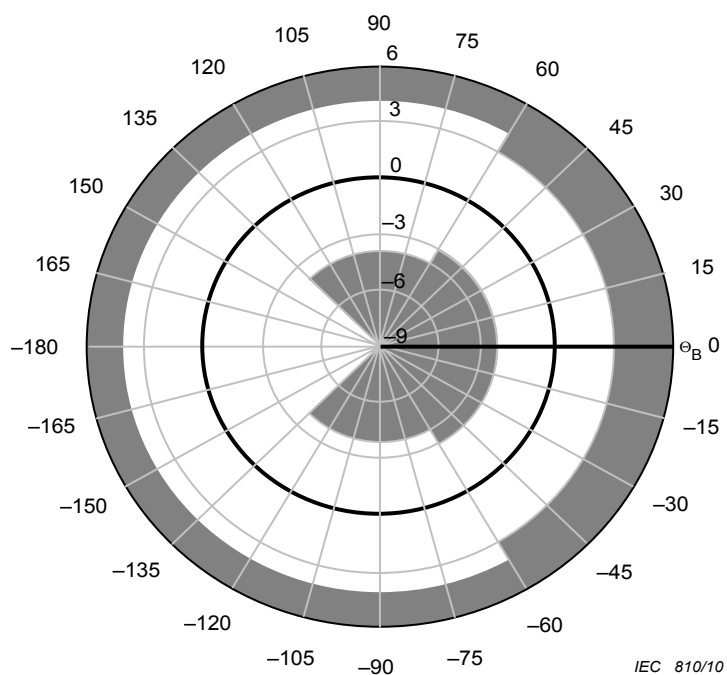


Figure 19 b – Diagramme de rayonnement dans le plan H d'une antenne d'émission – 6 GHz à 18 GHz

NOTE L'exemple de tracé concerne une antenne satisfaisant aux exigences relatives au plan H . Les zones grisées représentent les écarts maximaux autorisés indiqués dans le présent paragraphe. Cet exemple d'antenne satisfait aux exigences parce que le diagramme n'entre pas dans les régions grisées.

Figure 19 – Diagramme de rayonnement dans le plan H d'une antenne d'émission (exemple donné à titre informatif uniquement)

8.3.3.1.3 Appareillage d'essai pour la procédure S_{VSWR} inverse (c'est-à-dire 8.3.3.4)

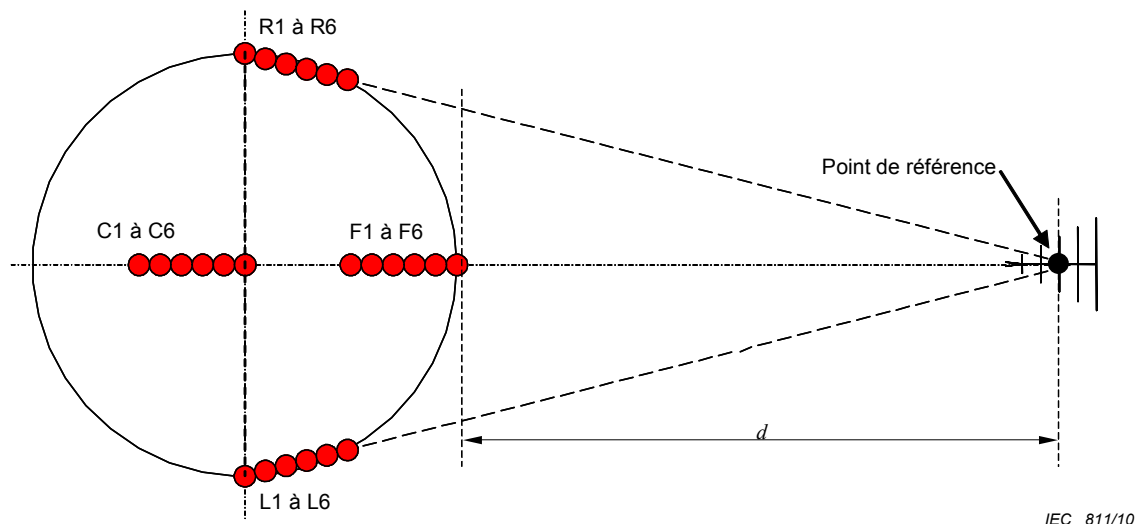
L'antenne utilisée pour émettre depuis le volume d'essai doit être du même type que celle utilisée ultérieurement pour les mesures d'émissions. La sonde de champ isotrope utilisée doit être omnidirectionnelle avec une anisotropie ne dépassant pas 3 dB.

8.3.3.2 Positions requises pour l'essai de validation de l'emplacement

8.3.3.2.1 Généralités

L'essai de validation de l'emplacement doit être effectué à l'intérieur d'un volume de forme cylindrique. Le fond du cylindre est constitué par la surface utilisée pour supporter l'EUT. Le haut du cylindre est choisi en fonction de la hauteur maximale qu'un EUT et celle que son câblage pourra occuper à la verticale. Le diamètre du cylindre est le plus grand diamètre requis pour recevoir un EUT avec ses câbles. Pour déterminer les dimensions du volume des câbles sortant du volume d'essai, on doit prendre comme hypothèse une section de 30 cm de ces câbles. Pour s'adapter à des équipements placés au sol qui ne peuvent pas être surélevés par rapport à la surface sur laquelle ils reposent, on admet que l'éclairage du volume d'essai sur une hauteur pouvant atteindre 30 cm à partir du bas du volume d'essai soit obstrué par des absorbants placés sur le plan de sol. Selon la procédure de 8.3.3.3, on détermine le S_{VSWR} en plaçant l'antenne de réception dans la position dans laquelle le volume doit être validé et en déplaçant la source d'émission le long des positions définies. En variante, en utilisant la procédure de S_{VSWR} inverse de 8.3.3.4, on utilise les positions décrites dans ce paragraphe pour le placement de la sonde de champ dans le volume d'essai.

Les emplacements requis pour effectuer les mesures de S_{VSWR} dépendent des dimensions du volume d'essai. Les détails des exigences concernant la position conditionnelle des essais sont donnés en 8.3.3.5. On estime le S_{VSWR} à chaque emplacement requis et pour chaque polarisation requise au moyen d'une série de six mesures sur une ligne allant jusqu'au point de référence de l'antenne de réception. Tous les emplacements possibles requis sont illustrés aux Figures 20 et 21, y compris les emplacements conditionnels décrits en 8.3.3.5. La série de six mesures sur la ligne allant jusqu'à l'antenne de réception est indiquée sur ces figures par des points.



IEC 811/10

Légende

d distance d'essai

**Figure 20 – Positions de mesure de S_{VSWR} dans un plan horizontal
(voir description en 8.3.3.2.2)**

8.3.3.2.2 Description des positions de mesure de S_{VSWR} dans un plan horizontal (Figure 20)

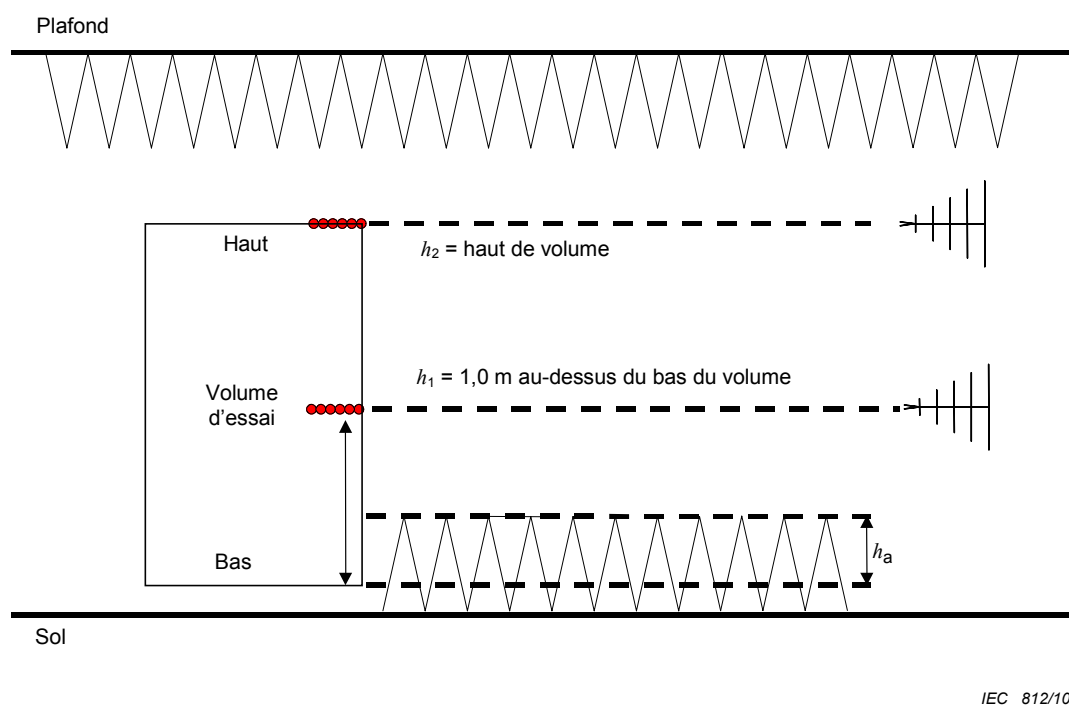
Ce paragraphe décrit comment les positions de mesure S_{VSWR} se situent dans un plan horizontal illustré à la Figure 20.

- a) Positions avant 1 à 6 (F1 à F6). Les positions avant sont sur une ligne allant du centre du volume d'essai au point de référence de l'antenne de réception. Pour localiser ces positions, localiser d'abord F6 qui est le plus en avant du volume d'essai sur l'axe de mesure, espacé du point de référence de l'antenne de réception de la distance d'essai, d .
On mesure F5 à F1 par rapport à F6 comme suit, en s'éloignant de l'antenne de réception:
 - 1) $F5 = F6 + 2 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 2) $F4 = F6 + 10 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 3) $F3 = F6 + 18 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 4) $F2 = F6 + 30 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 5) $F1 = F6 + 40 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
- b) Positions à droite 1 à 6 (R1 à R6): Ces positions sont localisées par rapport à la position R6. On trouve R6 en déterminant l'extrémité de droite du volume d'essai (position R1), puis en se déplaçant de 40 cm sur une ligne en direction du point de référence de l'antenne de réception (voir Figure 20).
On mesure les positions R5 à R1 par rapport à R6 comme suit, en s'éloignant de l'antenne de réception:
 - 1) $R5 = R6 + 2 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 2) $R4 = R6 + 10 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 3) $R3 = R6 + 18 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 4) $R2 = R6 + 30 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 5) $R1 = R6 + 40 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
- c) Positions à gauche 1 à 6 (L1 à L6): Ces positions sont localisées par rapport à la position L6. On trouve L6 en déterminant l'extrémité de gauche du volume d'essai (position L1), puis en se déplaçant de 40 cm sur une ligne en direction du point de référence de l'antenne de réception (voir Figure 20).
On mesure les positions L5 à L1 par rapport à L6 comme suit, en s'éloignant de l'antenne de réception:
 - 1) $L5 = L6 + 2 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 2) $L4 = L6 + 10 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 3) $L3 = L6 + 18 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 4) $L2 = L6 + 30 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 5) $L1 = L6 + 40 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
- d) Positions centrales 1 à 6 (C1 à C6): Ces positions sont localisées par rapport à la position C6. La position C6 est au centre du volume d'essai. Les positions C1 à C6 sont requises pour les essais lorsque le volume d'essai a un diamètre supérieur à 1,5 m (voir 8.3.3.5).
On mesure C5 à C1 par rapport à C6 en s'éloignant de l'antenne de réception, de la manière suivante:
 - 1) $C5 = C6 + 2 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 2) $C4 = C6 + 10 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 3) $C3 = C6 + 18 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 4) $C2 = C6 + 30 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception
 - 5) $C1 = C6 + 40 \text{ cm}$ en s'éloignant de l'antenne de réception

8.3.3.2.3 Description des positions supplémentaires de mesure de S_{VSWR} (Figure 21)

Outre les emplacements indiqués à la Figure 20, un plan d'essai additionnel de S_{VSWR} au sommet du volume d'essai peut s'avérer nécessaire en fonction de la hauteur du volume d'essai. La Figure 21 illustre l'exigence supplémentaire de hauteur pour les mesures de S_{VSWR} . L'essai à la deuxième hauteur doit être réalisé sur la position avant uniquement.

Le Tableau 5 fournit un résumé des positions d'essai. Dans le Tableau 5, les positions sont regroupées en fonction de la hauteur (h_1 , h_2) et de l'emplacement (avant, gauche, droite, centre). Pour chaque emplacement, on désigne une position de référence utilisée dans les calculs requis par l'Équation (22). Les positions sont désignées par P_{mnopq} , où les indices correspondent aux noms des positions énumérées dans la première colonne du Tableau 5.



Légende

- h_a partie du volume d'essai occultée par un matériau absorbant placé sur le sol (30 cm maximum)
- h_1 hauteur au milieu du volume d'essai, ou à 1,0 m au-dessus du bas du volume d'essai, en prenant la plus petite de ces deux valeurs
- h_2 hauteur au sommet du volume d'essai requise pour faire des mesures si elle est distante d'au moins 0,5 m de h_1 (voir 8.3.3.5 pour les détails)

Figure 21 – Positions de S_{VSWR} (exigences de hauteur)

Tableau 5 – Désignations des positions d'essai de S_{VSWR}

Nom de la position	Emplacement	Hauteur	Polarisation	Position de référence pour d_{ref} [voir Équation (22)]	Emplacement par rapport à la position de référence
Positions avant (Avant, h_1) à la première hauteur					
F1h1H	Avant	h_1	Horizontale	F6h1	+40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F1h1V	Avant	h_1	Verticale	F6h1	+40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F2h1H	Avant	h_1	Horizontale	F6h1	+30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F2h1V	Avant	h_1	Verticale	F6h1	+30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F3h1H	Avant	h_1	Horizontale	F6h1	+18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F3h1V	Avant	h_1	Verticale	F6h1	+18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F4h1H	Avant	h_1	Horizontale	F6h1	+10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F4h1V	Avant	h_1	Verticale	F6h1	+10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F5h1H	Avant	h_1	Horizontale	F6h1	+2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F5h1V	Avant	h_1	Verticale	F6h1	+2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F6h1H	Avant	h_1	Horizontale	F6h1	= Position de référence (Avant, h_1)
F6h1V	Avant	h_1	Verticale	F6h1	= Position de référence (Avant, h_1)
Positions au centre (Centre, h_1) à la première hauteur (si requises - voir 8.3.3.5)					
C1h1H	Centre	h_1	Horizontale	C6h1	+40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
C1h1V	Centre	h_1	Verticale	C6h1	+40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
C2h1H	Centre	h_1	Horizontale	C6h1	+30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
C2h1V	Centre	h_1	Verticale	C6h1	+30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
C3h1H	Centre	h_1	Horizontale	C6h1	+18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
C3h1V	Centre	h_1	Verticale	C6h1	+18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
C4h1H	Centre	h_1	Horizontale	C6h1	+10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
C4h1V	Centre	h_1	Verticale	C6h1	+10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
C5h1H	Centre	h_1	Horizontale	C6h1	+2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
C5h1V	Centre	h_1	Verticale	C6h1	+2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
C6h1H	Centre	h_1	Horizontale	C6h1	= Position de référence (Centre, h_1)
C6h1V	Centre	h_1	Verticale	C6h1	= Position de référence (Centre, h_1)

Tableau 5 (suite)

Nom de la position	Emplacement	Hauteur	Polarisation	Position de référence pour d_{ref} [voir Équation (22)]	Emplacement par rapport à la position de référence
Positions à droite à la première hauteur					
R1h1H	Droite	h_1	Horizontale	R6h1	+40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception à l'extrémité droite du volume
R1h1V	Droite	h_1	Verticale	R6h1	+40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception à l'extrémité droite du volume
R2h1H	Droite	h_1	Horizontale	R6h1	+30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
R2h1V	Droite	h_1	Verticale	R6h1	+30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
R3h1H	Droite	h_1	Horizontale	R6h1	+18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
R3h1V	Droite	h_1	Verticale	R6h1	+18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
R4h1H	Droite	h_1	Horizontale	R6h1	+10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
R4h1V	Droite	h_1	Verticale	R6h1	+10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
R5h1H	Droite	h_1	Horizontale	R6h1	+2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
R5h1V	Droite	h_1	Verticale	R6h1	+2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
R6h1H	Droite	h_1	Horizontale	R6h1	= Position de référence (Droite, h_1)
R6h1V	Droite	h_1	Verticale	R6h1	= Position de référence (Droite, h_1)
Positions à gauche à la première hauteur					
L1h1H	Gauche	h_1	Horizontale	L6h1	+40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception à l'extrémité gauche du volume
L1h1V	Gauche	h_1	Verticale	L6h1	+40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception à l'extrémité gauche du volume
L2h1H	Gauche	h_1	Horizontale	L6h1	+30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
L2h1V	Gauche	h_1	Verticale	L6h1	+30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
L3h1H	Gauche	h_1	Horizontale	L6h1	+18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
L3h1V	Gauche	h_1	Verticale	L6h1	+18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
L4h1H	Gauche	h_1	Horizontale	L6h1	+10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
L4h1V	Gauche	h_1	Verticale	L6h1	+10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
L5h1H	Gauche	h_1	Horizontale	L6h1	+2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
L5h1V	Gauche	h_1	Verticale	L6h1	+2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
L6h1H	Gauche	h_1	Horizontale	L6h1	= Position de référence (Gauche, h_1)
L6h1V	Gauche	h_1	Verticale	L6h1	= Position de référence (Gauche, h_1)

Tableau 5 (suite)

Nom de la position	Emplacement	Hauteur	Polarisation	Position de référence pour d_{ref} [voir Équation (22)]	Emplacement par rapport à la position de référence
Positions en avant à la deuxième hauteur (si requises – voir 8.3.3.5)					
F1h2H	Avant	h_2	Horizontale	F6h2	+40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F1h2V	Avant	h_2	Verticale	F6h2	+40 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F2h2H	Avant	h_2	Horizontale	F6h2	+30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F2h2V	Avant	h_2	Verticale	F6h2	+30 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F3h2H	Avant	h_2	Horizontale	F6h2	+18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F3h2V	Avant	h_2	Verticale	F6h2	+18 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F4h2H	Avant	h_2	Horizontale	F6h2	+10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F4h2V	Avant	h_2	Verticale	F6h2	+10 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F5h2H	Avant	h_2	Horizontale	F6h2	+2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F5h2V	Avant	h_2	Verticale	F6h2	+2 cm en s'éloignant de l'antenne de réception
F6h2H	Avant	h_2	Horizontale	F6h2	= Position de référence (Avant, h_2)
F6h2V	Avant	h_2	Verticale	F6h2	= Position de référence (Avant, h_2)
NOTE Ces mesures de S_{VSWR} peuvent être effectuées dans n'importe quel ordre.					

8.3.3.3 Validation de l'emplacement de S_{VSWR} – procédure d'essai normalisée

Dans la procédure qui suit, les positions sont désignées par P_{mnopq} , les indices correspondant aux noms des positions telles qu'elles sont énumérées dans la première colonne du Tableau 5. Le signal mesuré, M , est le champ E reçu ou la mesure de tension dans chaque position, et il est désigné de la même manière par des indices, par exemple M_{mnopq} . P_{F1h1H} par exemple est la position F1, à la hauteur 1, en polarisation horizontale et son signal mesuré (en dB) est dénommé M_{F1h1H} .

- Placer la source d'émission avec son point de référence dans la position avant 6, hauteur 1, en polarisation horizontale (P_{F6h1H}). Placer l'antenne de réception également en polarisation horizontale à la distance d'essai d , mesurée à partir de la source jusqu'au point de référence de l'antenne de réception. Noter que la hauteur de l'antenne de réception doit être la même hauteur que celle de la source d'émission, pour toutes les mesures.
- Vérifier que le signal reçu affiché est supérieur au bruit ambiant d'au moins 20 dB et supérieur au bruit affiché par le récepteur de mesure ou l'analyseur de spectre sur toute la gamme des fréquences à mesurer. Si ce n'est pas le cas, il peut être nécessaire d'utiliser des équipements différents (antennes, câbles, générateur de signal, préamplificateur) et/ou d'utiliser, le cas échéant, des plages de fréquences partielles pour maintenir le signal à 20 dB au-dessus du plancher de bruit affiché.

- c) Enregistrer le niveau de signal mesuré, M_{F6h1H} à chaque fréquence. La mesure peut être effectuée par balayage ou par incréments de fréquence par pas. Si on utilise des incréments par pas, l'incrément de fréquence doit être inférieur ou égal à 50 MHz.
- d) Répéter les étapes a) et b) la source d'émission se trouvant dans les cinq autres positions indiquées dans le Tableau 6 (voir 8.3.3.6) pour les conditions avant, hauteur 1, polarisation horizontale. Il y aura au total six mesures pour avant, hauteur 1, polarisation horizontale (de M_{F1h1H} à M_{F6h1H}) qui diffèrent par la distance de séparation par rapport à l'antenne de réception, des incréments indiqués dans le Tableau 5.
- e) Changer la polarisation de la source d'émission et de l'antenne de réception en une polarisation verticale et répéter la procédure ci-dessus pour les positions P_{F1h1V} à P_{F1h6V} , afin d'obtenir M_{F1h1V} à M_{F1h6V} .
- f) Pour l'ensemble des mesures, normaliser le champ E mesuré ou les données de tension mesurées à la distance de la position de référence indiquée dans le Tableau 5 en utilisant l'Équation (22):

$$M'_{mnopq} = M_{mnopq} + 20 \log \left(\frac{d_{mnopq}}{d_{ref}} \right) \text{ dB} \quad (22)$$

où

d_{mnopq} est la distance réelle de séparation pour l'emplacement de mesure;

d_{ref} est la distance de séparation mesurée par rapport à la position de référence;

M_{mnopq} est le signal mesuré (champ E ou tension du récepteur) en dB. On notera que chaque emplacement de mesure a une position de référence différente correspondant à la position 6, comme indiqué dans le Tableau 5 pour P_{mnopq} ;

M'_{mnopq} est le champ E mesuré normalisé ou les données de tension par rapport à la distance de la position de référence indiquée dans le Tableau 5.

- g) En utilisant l'Équation (20) ou Équation (21), calculer le S_{VSWR} pour la polarisation horizontale. En utilisant l'Équation (21), on peut obtenir $S_{VSWR,dB}$ en soustrayant le signal minimal reçu, $M_{min,dB}$, du signal maximal reçu, $M_{max,dB}$, après avoir appliqué les corrections de distance [c'est-à-dire l'étape f)], pour les six positions. Répéter le calcul pour les résultats obtenus en utilisant la polarisation verticale.
- h) Le S_{VSWR} pour chacune des polarisations doit satisfaire aux critères d'acceptation de 8.3.2.
- i) Répéter les étapes a) à h) pour les positions à gauche et à droite du volume d'essai. Noter que lorsque l'antenne d'émission source est déplacée à gauche ou à droite, sa ligne de visée doit être dirigée vers l'antenne de réception. Cependant, l'antenne de réception doit continuer à faire face au centre (non dirigée vers les positions latérales), dans la même direction que celle qu'elle aura ultérieurement pendant les mesures effectuées sur les EUT.
- j) Si cela est requis par 8.3.3.5, répéter la procédure ci-dessus pour les mesures dans la position centrale, et pour les mesures demandées à la deuxième hauteur. Lorsque les mesures sont effectuées à la deuxième hauteur, l'antenne de réception doit être à la même hauteur que l'antenne d'émission.

8.3.3.4 Validation d'emplacement de S_{VSWR} – procédure d'essai inverse utilisant une sonde de champ isotrope

Pour les installations blindées (c'est-à-dire chambres complètement anéchoïques ou semi-anéchoïques), il est admis de déterminer le S_{VSWR} au moyen d'une sonde de champ isotrope placée aux emplacements requis du Tableau 5 et en illuminant le volume d'essai avec la même antenne que celle qui sera utilisée ultérieurement comme antenne de réception, pour les essais d'émissions. Pour les besoins de la présente norme, cette méthode est appelée méthode « inverse » de détermination du S_{VSWR} . Dans cette procédure de S_{VSWR} inverse, l'antenne à utiliser ultérieurement comme antenne de réception pour les essais d'émission de l'EUT est appelée antenne « d'émission » car elle sera utilisée pour émettre en direction d'une

sonde située dans le volume d'essai. La sonde de champ isotrope est requise pour satisfaire aux spécifications de diagramme de rayonnement de 8.3.3.1. La sonde doit pouvoir être alignée avec la polarisation de l'antenne d'émission, c'est-à-dire que l'emplacement et l'orientation des éléments détecteurs de la sonde doivent être connus.

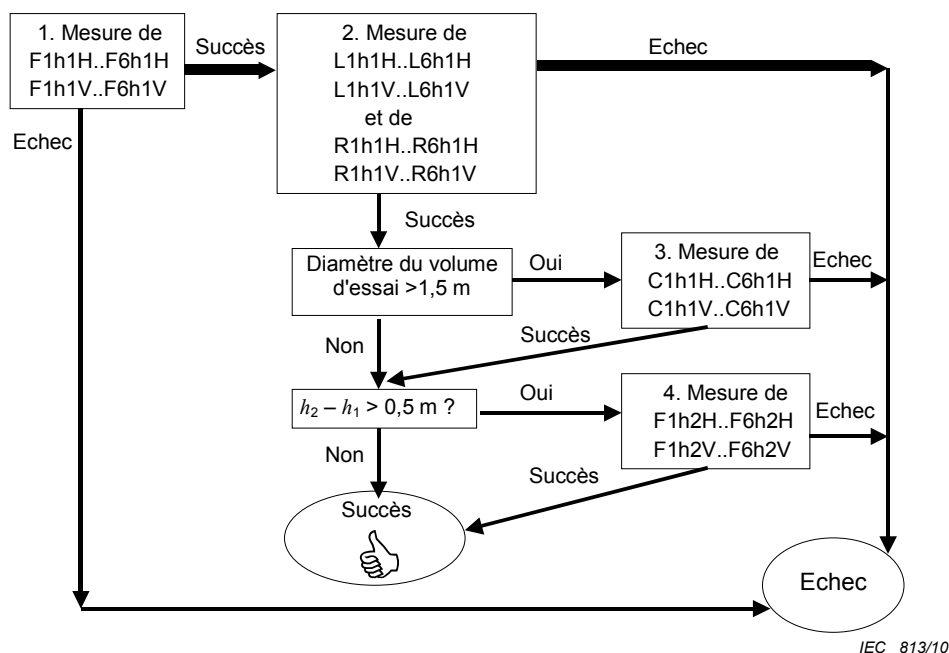
La procédure d'essai inverse de validation d'emplacement de S_{VSWR} utilisant une sonde de champ isotrope est la suivante.

- a) Placer la sonde de champ dans la position avant 6, hauteur 1, en polarisation horizontale (P_{F6h1H}). Placer l'antenne d'émission à la distance d'essai d mesurée, du périmètre du volume d'essai jusqu'au point de référence de l'antenne. La hauteur de l'antenne d'émission doit être la même que celle de la sonde, pour toutes les positions.
- b) Vérifier que l'amplitude du champ est suffisante pour permettre le bon fonctionnement de la sonde. Pour les directives concernant les équipements et les procédures nécessaires à la détermination des intensités de champ appropriées, se référer aux spécifications d'utilisation des constructeurs pour la sonde (sensibilité et incertitude de mesure adéquates). De plus, il convient de vérifier la linéarité du système de transmission et de la sonde, et les harmoniques doivent être supprimées jusqu'à un niveau d'au moins 15 dB en dessous du signal primaire. L'utilisation d'un coupleur directif est recommandée pour surveiller la puissance incidente pendant l'essai, car des variations de niveau de la puissance de sortie entraîneront des variations des résultats de l'essai. Il est important de fournir des signaux de sortie stables, car toute variation de signal due à une instabilité de la source de signal (par exemple mauvais raccordements des câbles, variations dues au temps de préchauffage du préamplificateur, etc.) entraînera des variations supplémentaires des résultats (c'est-à-dire des résultats de S_{VSWR} artificiellement élevés).
- c) Enregistrer le niveau de signal mesuré, M_{F6h1H} , à chaque fréquence. La mesure peut être effectuée par balayage ou par incréments de fréquence par pas. Si l'on utilise des incréments par pas, l'incrément de fréquence doit être inférieur ou égal à 50 MHz.
- d) Répéter l'étape c), la sonde de champ se trouvant dans les cinq autres positions indiquées dans le Tableau 6 (voir 8.3.3.6) pour les conditions avant, hauteur 1, polarisation horizontale. Il y aura au total six mesures pour avant, hauteur 1, polarisation horizontale (de M_{F1h1H} à M_{F6h1H}) qui diffèrent par la distance de séparation par rapport à l'antenne de réception, des incréments indiqués dans le Tableau 5.
- e) Changer la polarisation de la sonde de champ et de l'antenne en une polarisation verticale et répéter la procédure ci-dessus pour les positions P_{F1h1V} à P_{F6h1V} , afin d'obtenir M_{F1h1V} à M_{F6h1V} .
- f) Pour toutes les mesures, normaliser les données obtenues en utilisant l'Équation (22).
- g) En utilisant l'Équation (20) ou l'Équation (21), calculer le S_{VSWR} pour la polarisation horizontale. En utilisant l'Équation (21), on peut obtenir $S_{VSWR,dB}$ en soustrayant le signal minimal reçu, $M_{min,dB}$, du signal maximal reçu, $M_{max,dB}$, après avoir appliqué les corrections de distance [c'est-à-dire l'étape f)], pour les six positions. Répéter les calculs pour les résultats obtenus en utilisant la polarisation verticale.
- h) Le S_{VSWR} pour les deux polarisations doit satisfaire aux critères d'acceptation de 8.3.2.
- i) Répéter la procédure ci-dessus pour les parties gauche et droite du volume d'essai. Noter que pour la procédure S_{VSWR} inverse, la sonde peut être réglée pour conserver une direction constante vers le point de référence de l'antenne d'émission. Cependant, l'antenne d'émission doit rester pointée vers le centre du volume (non dirigée vers les positions latérales), dans la même direction que celle qu'elle aura pendant les mesures effectuées ultérieurement sur les EUT.
- j) Si cela est requis par 8.3.3.5, répéter la procédure ci-dessus pour les mesures dans la position centrale, et pour toutes les mesures demandées à la deuxième hauteur. Lorsque les mesures sont effectuées à la deuxième hauteur, la sonde doit être à la même hauteur que l'antenne d'émission.

8.3.3.5 Exigences relatives aux positions d'essai conditionnelles

Comme indiqué par la Figure 20, la Figure 21 et le Tableau 5, des essais dans des positions supplémentaires sont demandés en fonction des dimensions du volume d'essai. La Figure 22 présente un organigramme spécifiant le moment où ces mesures supplémentaires sont requises.

Lorsque des positions d'essai supplémentaires sont requises, le S_{VSWR} doit être déterminé à chaque fréquence d'essai de chaque groupe de six mesures, indépendamment pour la polarisation horizontale et verticale, en utilisant les procédures de 8.3.3.3 ou 8.3.3.4.



NOTE Il n'est pas nécessaire d'effectuer les mesures requises dans l'ordre énoncé, et celles-ci peuvent être effectuées dans n'importe quel ordre afin que l'ensemble des données requises soit obtenu.

Figure 22 – Exigences relatives aux positions d'essai conditionnelles

8.3.3.6 Rapport d'essai de validation d'emplacement S_{VSWR}

Le Tableau 6 fournit un résumé de toutes les mesures et calculs possibles de S_{VSWR} requis (normalisés), y compris les résultats relatifs aux positions exigées et aux positions conditionnelles de 8.3.3.5.

Les calculs de S_{VSWR} ci-dessus et les exigences liées au rapport s'appliquent à chaque fréquence d'essai.

Tableau 6 – Exigences concernant les rapports de S_{VSWR}

Emplacement	Hauteur	Polarisation	Type	S_{VSWR} dB
Avant	h_1	Horizontale	Exigé	$= \text{Max } M'_{F1h1H} \dots M'_{F6h1H} - \text{Min } (M'_{F1h1H} \dots M'_{F6h1H})$
Avant	h_1	Verticale	Exigé	$= \text{Max } (M'_{F1h1V} \dots M'_{F6h1V}) - \text{Min } (M'_{F1h1V} \dots M'_{F6h1V})$
Droite	h_1	Horizontale	Exigé	$= \text{Max } (M'_{R1h1H} \dots M'_{R6h1H}) - \text{Min } (M'_{R1h1H} \dots M'_{R6h1H})$
Droite	h_1	Verticale	Exigé	$= \text{Max } (M'_{R1h1V} \dots M'_{R6h1V}) - \text{Min } (M'_{R1h1V} \dots M'_{R6h1V})$
Gauche	h_1	Horizontale	Exigé	$= \text{Max } (M'_{L1h1H} \dots M'_{L6h1H}) - \text{Min } (M'_{L1h1H} \dots M'_{L6h1H})$
Gauche	h_1	Verticale	Exigé	$= \text{Max } (M'_{L1h1V} \dots M'_{L6h1V}) - \text{Min } (M'_{L1h1V} \dots M'_{L6h1V})$
Centre	h_1	Horizontale	Conditionnel	$= \text{Max } (M'_{C1h1H} \dots M'_{C6h1H}) - \text{Min } (M'_{C1h1H} \dots M'_{C6h1H})$
Centre	h_1	Verticale	Conditionnel	$= \text{Max } (M'_{C1h1V} \dots M'_{C6h1V}) - \text{Min } (M'_{C1h1V} \dots M'_{C6h1V})$
Avant	h_2	Horizontale	Conditionnel	$= \text{Max } (M'_{F1h2H} \dots M'_{F6h2H}) - \text{Min } (M'_{F1h2H} \dots M'_{F6h2H})$
Avant	h_2	Verticale	Conditionnel	$= \text{Max } (M'_{F1h2V} \dots M'_{F6h2V}) - \text{Min } (M'_{F1h2V} \dots M'_{F6h2V})$

8.3.3.7 Limites de la méthode de validation d'emplacement de S_{VSWR}

Les points de mesure choisis pour 8.3.3.2 et contenus dans les procédures précédentes ont pour objet de fournir une mesure d'ensemble du S_{VSWR} de l'emplacement d'essai pour toute la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz. On notera cependant que le S_{VSWR} maximal ne peut pas toujours être obtenu par les procédures de 8.3.3.3 ou 8.3.3.4, à une fréquence spécifique f quelconque. Par conséquent, il convient d'éviter les énoncés de conformité de S_{VSWR} basés sur des mesures à une fréquence unique. Cependant, le maximum trouvé par les procédures ci-dessus, dans des octaves adjacentes ($0,5f$ à $2f$), est en général représentatif du S_{VSWR} le plus défavorable relatif à toutes les fréquences incluses dans la bande.

Dans les cas où l'on désire une meilleure précision du résultat de S_{VSWR} à une seule fréquence, la méthode ci-dessus peut être améliorée en effectuant la mesure à plus de six positions le long des lignes indiquées sur la Figure 20 et la Figure 21. Il convient d'espacer de manière inégale les points supplémentaires de collecte de données, et de les choisir en se basant sur un déplacement en distance de l'antenne source (ou de la sonde de champ pour la méthode de S_{VSWR} inverse) en utilisant des échelons d'un quart de longueur d'onde à la fréquence considérée.

8.4 Autres emplacements d'essai

Tout emplacement de mesure qui satisfait aux conditions d'espace libre est un autre emplacement d'essai possible.

9 Dispositifs d'absorption en mode commun

9.1 Généralités

Les CMAD (dispositifs d'absorption en mode commun) sont appliqués sur les câbles à leur sortie du volume d'essai au cours d'une mesure d'émission rayonnée. Les CMAD sont utilisés dans les mesures des émissions rayonnées pour réduire les variations des résultats de mesure entre différents emplacements d'essai, dues à de possibles différences de valeurs d'impédance de mode commun et de symétrie au point où les câbles quittent l'emplacement d'essai (par exemple au centre d'une table tournante). Les caractéristiques fondamentales des CMAD peuvent être exprimées en termes de paramètres S . Les valeurs de performance déduites telles que la perte d'insertion ou le coefficient de réflexion peuvent être déterminées à partir de ces paramètres S . Cet article spécifie la méthode de mesure pour la vérification des paramètres S d'un CMAD.

9.2 Mesures des paramètres S d'un CMAD

Les paramètres S mesurés dans un montage d'essai, comme cela est décrit en 9.3, sont utilisés pour caractériser les propriétés d'un CMAD. Les valeurs des paramètres S complexes sont évaluées au niveau des plans de référence indiqués à la Figure 23. La méthode de référence pour la mesure des paramètres S avec la précision la plus élevée possible utilise un analyseur de réseau vectoriel (VNA) et la méthode d'étalonnage TRL, telle qu'elle est décrite en 9.4.

9.3 Montage d'essai de CMAD

Un montage d'essai utilisé pour la mesure des paramètres S d'un CMAD en essai doit comporter une tige métallique cylindrique au-dessus d'un plan de sol métallique comme cela est représenté à la Figure 23. La tige métallique entre les flasques verticaux du montage d'essai se compose de trois sections: une section formant une ligne de transmission dans le montage entre les deux plans de référence et deux sections d'adaptation entre les plans de référence et les accès d'adaptateur.

Les effets sur la mesure d'un CMAD dus aux sections d'adaptation et aux accès d'adaptateur peuvent être éliminés en utilisant la méthode d'étalonnage TRL décrite en 9.4, ce qui permet d'obtenir une incertitude faible pour les mesures finales. Tout type d'adaptateur peut être utilisé pour les mesures de 9.4. Des exemples d'adaptateurs sont représentés aux Figures 26 à 28 (voir 9.6).

Le diamètre d de la tige cylindrique doit être de 4 mm. La hauteur au-dessus du plan de masse, h , est définie par les dimensions du CMAD. Les valeurs types sont 30 mm, 65 mm et 90 mm. La mesure doit être réalisée à la hauteur définie par la conception du CMAD. La distance entre le plan de référence et le flasque vertical du montage (section d'adaptation), L_A , doit être d'au moins $2h$ (voir Figure 23). Il convient que les distances entre les plans de référence et les extrémités du CMAD, D_A et D_B , soient aussi faibles que possible, mais qu'elles ne dépassent pas h . Le plan de masse métallique du montage d'essai doit avoir une longueur supérieure à $(L_{jig} + 4h)$ et une largeur supérieure à $4h$.

L'impédance caractéristique, Z_{ref} , est donnée par le diamètre interne de la ligne, d (définie à 4 mm), et par la hauteur du centre de la tige au-dessus du plan de sol, h :

$$Z_{ref} = \frac{Z_0}{2\pi} \cos h^{-1} \left(\frac{2h}{d} \right) \text{ en } \Omega \quad (23)$$

où

Z_0 est l'impédance d'espace libre en Ω (à savoir, 120π);

d est le diamètre du conducteur d'essai, défini à 4 mm;

h est la hauteur du centre du conducteur d'essai au-dessus du plan de masse.

EXEMPLE Les valeurs types de Z_{ref} pour différentes hauteurs h sont:

$$h = 30 \text{ mm} \quad \gg \quad Z_{ref} = 204 \Omega$$

$$h = 65 \text{ mm} \quad \gg \quad Z_{ref} = 248 \Omega$$

$$h = 90 \text{ mm} \quad \gg \quad Z_{ref} = 270 \Omega$$

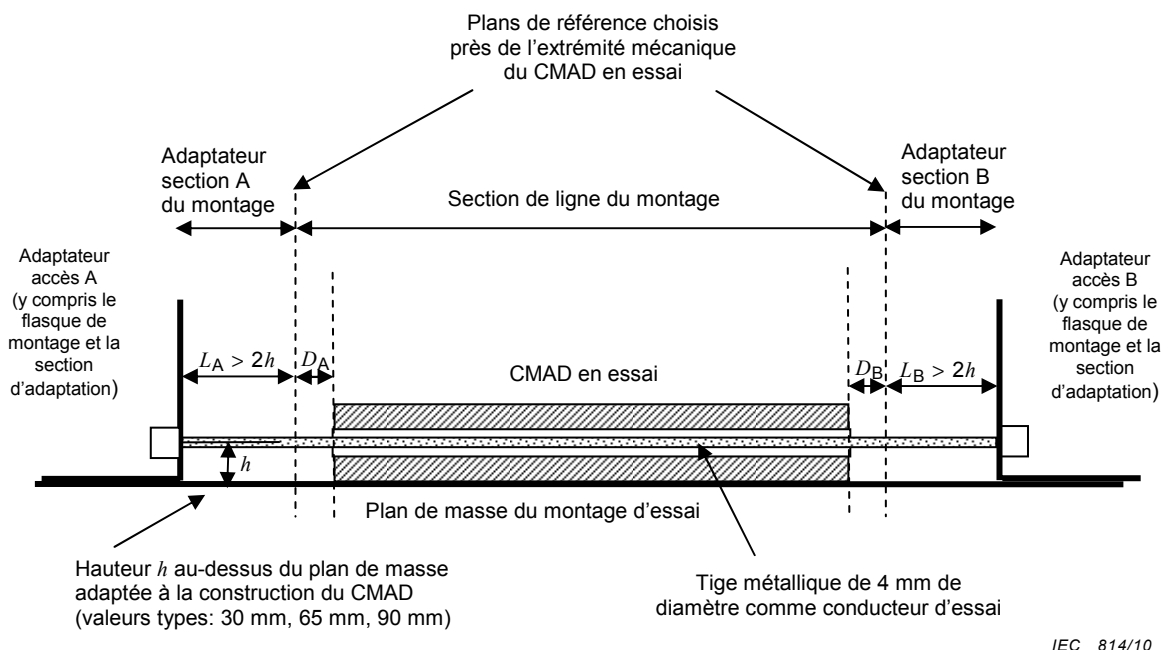


Figure 23 – Définition des plans de référence à l'intérieur du montage d'essai

9.4 Méthode de mesure utilisant l'étalonnage TRL

La méthode d'étalonnage « through-reflect-line » (TRL) est recommandée pour mesurer les paramètres S des CMAD. L'utilisation de cette procédure d'étalonnage permet la sélection du plan de référence à l'intérieur du montage d'essai de manière à ce qu'il soit très proche de l'emplacement où le CMAD en essai sera placé et ainsi les distances D_A et D_B peuvent être minimisées (voir Figure 23). L'étalonnage nécessite une tige métallique (appelée « ligne ») de même diamètre et à la même hauteur que la section de ligne de transmission du montage. L'impédance et la longueur caractéristiques de la section de ligne doivent être connues exactement et elles sont introduites dans les données d'étalonnage utilisées par le micrologiciel du VNA ou par les calculs de correction externes.

La longueur de la section de ligne, utilisée pour un processus d'étalonnage TRL, détermine la gamme de fréquences dans laquelle l'étalonnage TRL peut être réalisé. Cette limitation de fréquence résulte de la procédure mathématique utilisée dans la méthode d'étalonnage TRL lorsqu'à certaines fréquences, une condition de division par zéro (ou par des valeurs très petites) est possible et doit être évitée.

Si la longueur de la « ligne » de référence est L , la gamme de fréquences doit être limitée à une valeur comprise entre la fréquence inférieure f_L et la fréquence supérieure f_H comme suit:

$$f_L = 0,05 \frac{c}{L} \quad (24)$$

$$f_H = 0,45 \frac{c}{L} \quad (25)$$

où c est égal à 3×10^8 m/s. Une longueur de « ligne » de 0,6 m est appropriée pour l'étalonnage dans la gamme de fréquences comprise entre 30 MHz et 200 MHz. Si la mesure doit être étendue à des fréquences supérieures, un deuxième étalonnage de « ligne » est nécessaire. Un deuxième étalonnage avec une longueur de « ligne » de 0,12 m serait approprié pour la gamme de fréquences de 150 MHz à 1 000 MHz.

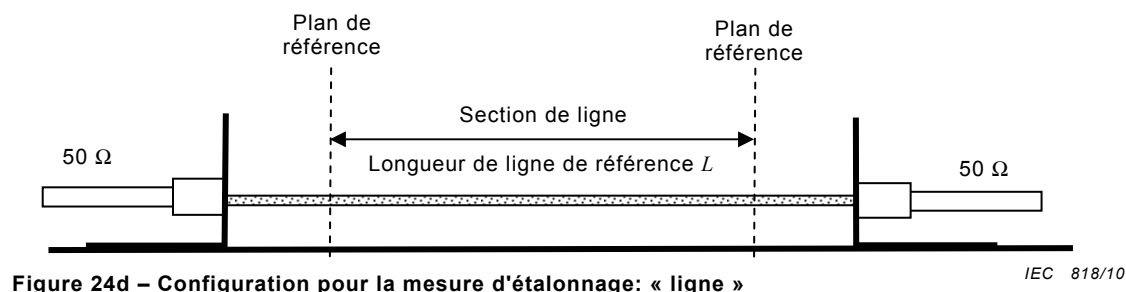
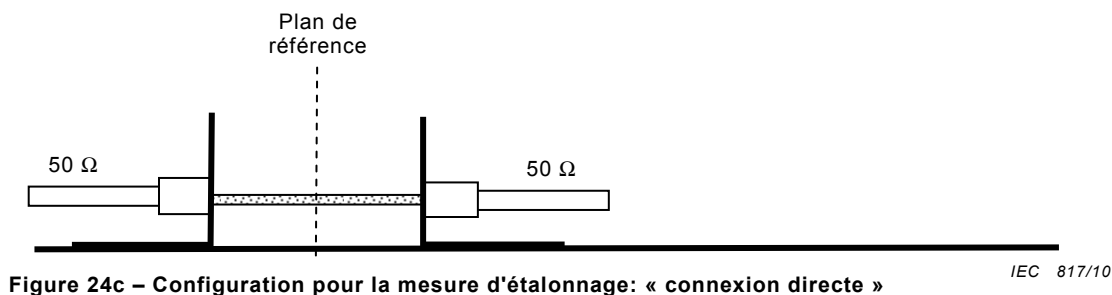
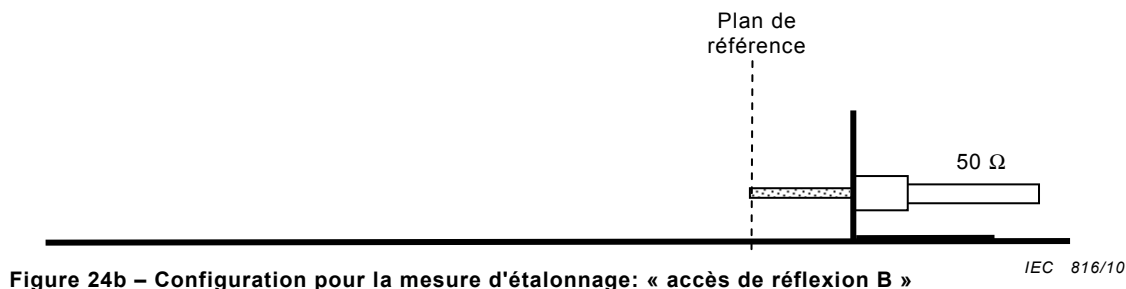
Quatre configurations d'étalonnage sont nécessaires pour la méthode d'étalonnage TRL:

- a) « réflexion » (accès A): Mesure de la valeur complexe S_{11} de la section d'adaptation et de l'adaptateur sans autre connexion (simulant une condition de circuit ouvert) [Figure 24 a];
- b) « réflexion » (accès B): Mesure de la valeur complexe S_{22} de la section d'adaptation et de l'adaptateur sans autre connexion (simulant une condition de circuit ouvert) [Figure 24 b];
- c) « connexion directe »: Mesure des valeurs complexes S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22} avec les deux sections d'adaptation directement connectées ensemble (sans la section de ligne intercalée) [Figure 24 c];
- d) « ligne »: Mesure des valeurs complexes S_{11} , S_{12} , S_{21} , S_{22} avec introduction de la section de ligne [Figure 24 d].

Ces mesures d'étalonnage donnent 10 nombres complexes pour chaque point de fréquence. Si le VNA contient un micrologiciel pour l'étalonnage TRL, il utilisera ces mesures de référence pour calculer les corrections voulues pour la mesure de TRL. Si le VNA ne prend pas en charge l'étalonnage TRL, les corrections nécessaires peuvent être effectuées indépendamment du VNA conformément à la procédure décrite dans la CISPR/TR 16-3.

Les propriétés des sections d'adaptation et des accès d'adaptateurs à l'extérieur des plans d'étalonnage n'ont pas besoin d'être connues pour l'étalonnage TRL; elles sont en fait mesurées dans la procédure d'étalonnage et elles sont compensées correctement par l'étalonnage TRL. Différents types d'adaptateurs peuvent être utilisés. Il est recommandé d'utiliser le même type d'adaptateur et la même longueur de section d'adaptation aux deux extrémités du montage d'essai. Il est également recommandé que les deux sections d'adaptation soient de même longueur, à savoir que $L_A = L_B$.

Après étalonnage, le CMAD en essai est introduit dans la section de ligne du montage d'essai. Les sections d'adaptation et les adaptateurs doivent être exactement les mêmes que ceux utilisés pour l'étalonnage. La longueur de la tige métallique peut être différente de la longueur de la « ligne » utilisée pour l'étalonnage mais le diamètre (4 mm) et la hauteur au-dessus du plan de masse doivent être les mêmes que ceux utilisés pour l'étalonnage. Il convient que la tige métallique à l'intérieur du CMAD soit positionnée aussi précisément que possible au centre de l'ouverture du CMAD. La longueur de la tige métallique peut être choisie de manière à ce que le plan de référence corresponde aux extrémités physiques du CMAD (à savoir D_A aussi petit que possible). Les CMAD types ont une longueur de 0,6 m. Dans ce cas, la section de ligne de 4 mm peut être utilisée pour l'étalonnage dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 200 MHz, ainsi que pour la mesure du CMAD (incluant également la gamme de fréquences supérieure à 200 MHz, étalonnée par une section de ligne plus courte). Les résultats de la mesure pour un CMAD en essai utilisant la mesure d'un VNA corrigée par l'étalonnage TRL sont constitués d'un ensemble de quatre paramètres S référencés par rapport à l'impédance caractéristique de la section de ligne de transmission (montage vide), $Z_{0,jig}$.



NOTE La longueur L de la ligne de référence pour l'étalonnage peut ne pas être la même que la longueur utilisée pour la mesure du CMAD. La longueur de la ligne de référence pour la procédure d'étalonnage est choisie en fonction de la gamme de fréquences nécessaire.

Figure 24 – Les quatre configurations pour l'étalonnage TRL

9.5 Spécification d'un CMAD du type à pince en ferrite

Les CMAD du type à pince en ferrite sont utilisés au cours des mesures rayonnées au-dessous de 1 GHz afin de réduire l'incertitude de conformité. Les caractéristiques d'un CMAD sont mesurées selon les dispositions des Paragraphes 9.1 à 9.3 en faisant référence à l'impédance caractéristique du montage vide $Z_{0,jig}$.

Une comparaison entre les CMAD du type à pince en ferrite existants a montré qu'une amplitude de S_{21} inférieure à 0,25 est exigée pour assurer un découplage suffisant. Ces valeurs peuvent être obtenues avec des CMAD ayant une amplitude de S_{11} comme représenté à la Figure 25.

Les CMAD à pince en ferrite doivent satisfaire aux spécifications suivantes:

- a) l'amplitude de S_{21} doit être inférieure à 0,25 dans la gamme de fréquences allant de 30 MHz à 200 MHz;
- b) l'amplitude de S_{11} doit se situer dans les limites suivantes dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 200 MHz:
- limite supérieure 0,75 à 30 MHz et 0,55 à 200 MHz (décroissant de manière linéaire avec le logarithme de la fréquence);
 - limite inférieure 0,6 à 30 MHz et 0,4 à 200 MHz (décroissant de manière linéaire avec le logarithme de la fréquence).

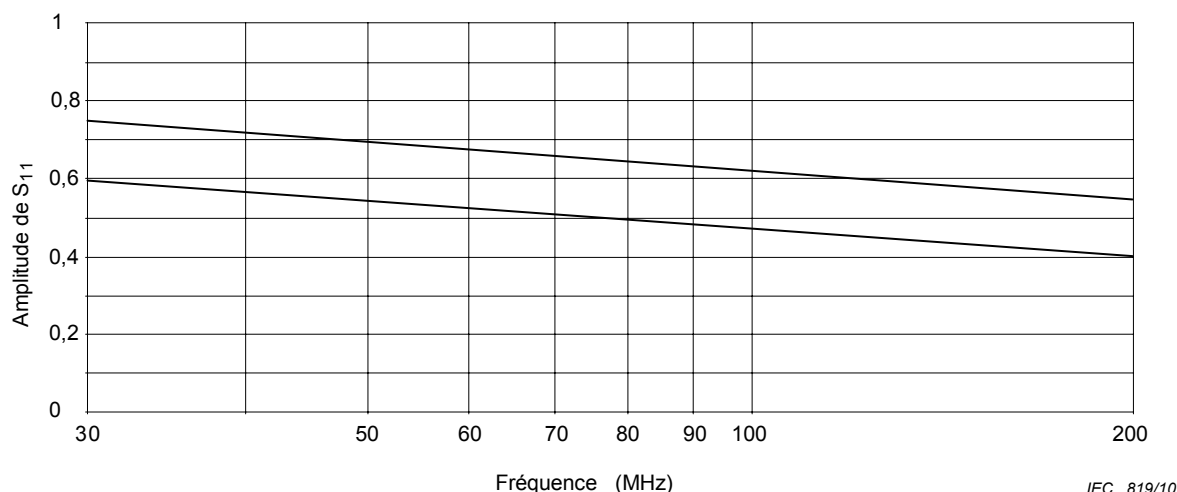


Figure 25 – Limites pour l'amplitude de S_{11} , mesurée selon les dispositions de 9.1 à 9.3

Aucune spécification dans la gamme de fréquences de 200 MHz à 1 000 MHz n'est exigée puisque les mesures des émissions rayonnées ne sont pas affectées de manière importante par les conditions d'extrémité de câble à ces fréquences.

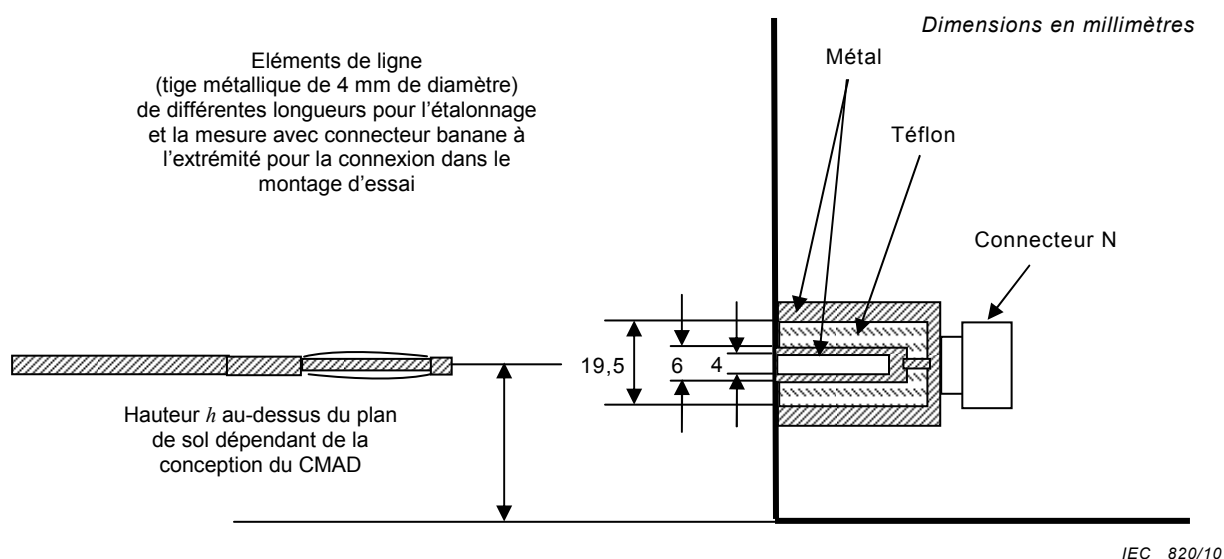
Une justification de l'utilisation des paramètres S pour la spécification des CMAD du type à ferrite est donnée en 4.9 de la CISPR/TR 16-3, Amendement 2.

9.6 Vérification de la performance (dégradation) des CMAD en utilisant un analyseur de spectre et un générateur de poursuite

Les paramètres S complexes d'un CMAD ne peuvent pas être mesurés sans utiliser de VNA. Toutefois, des appareils tels que des VNA peuvent ne pas être disponibles dans tous les laboratoires d'essai de CEM. Pour les laboratoires qui n'ont pas accès à des appareils VNA, une méthode plus simple pour vérifier le fonctionnement d'un CMAD est définie dans ce paragraphe en utilisant un analyseur de spectre avec un générateur de poursuite. Ce montage d'appareils mesure seulement l'amplitude de la perte d'insertion, mais cette valeur mesurée ne sera pas directement liée aux paramètres S mesurés au niveau des plans de référence représentés à la Figure 23. Néanmoins, un laboratoire de CEM peut répéter périodiquement la même mesure de perte d'insertion avec son montage d'essai propre en utilisant exactement les mêmes conditions (impédance et géométrie du montage d'essai) et enregistrer et comparer l'historique des résultats pour décider si le CMAD présente toujours des propriétés acceptables. La dégradation des performances des CMAD peut être détectée de cette manière. Si une dégradation apparaît, une mesure de référence doit être réalisée en utilisant un VNA avec la méthode d'étalonnage TRL de 9.4.

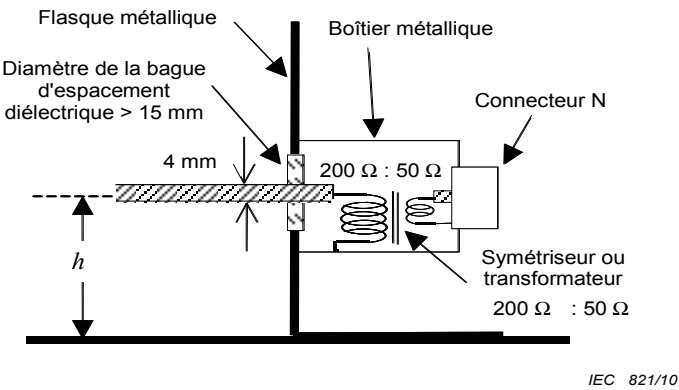
On peut utiliser pour cette vérification de performance/dégradation une construction quelconque d'adaptateur (Figures 23 et 24, Figures 26 à 28). Pour éviter des effets de résonance dans les câbles entre le montage d'essai et l'instrument de mesure, il est nécessaire d'inclure deux atténuateurs de 10 dB près de la connexion du montage d'essai au cours de cette vérification de performance.

- a) Lorsqu'on utilise des adaptateurs à 50 Ω (Figure 26), la mesure de la perte d'insertion pour la vérification de performance/dégradation est la différence en dB entre les mesures d'affaiblissement pour les deux configurations suivantes:
 - 1) configuration 1: connexion directe des deux atténuateurs sans le montage d'essai ;
 - 2) configuration 2: les deux atténuateurs connectés au montage d'essai avec le CMAD inclus.
- d) Si on utilise des adaptateurs d'impédance (Figure 27 ou Figure 28), la mesure de la perte d'insertion pour la vérification de la dégradation est la différence entre l'affaiblissement mesuré pour les deux configurations suivantes:
 - 1) configuration 1: les deux atténuateurs connectés au montage d'essai sans le CMAD (montage vide);
 - 2) configuration 2: les deux atténuateurs connectés au montage d'essai avec le CMAD inclus.



NOTE Les côtés inférieurs du flasque vertical sont reliés électriquement au plan de sol métallique.

Figure 26 – Exemple de conception d'adaptateur 50 Ω dans le flasque vertical du montage



NOTE Si la prise centrale de l'accès symétrique est reliée au boîtier du symétriseur, il convient qu'elle soit déconnectée.

Figure 27 – Exemple d'adaptateur avec symétriseur ou transformateur

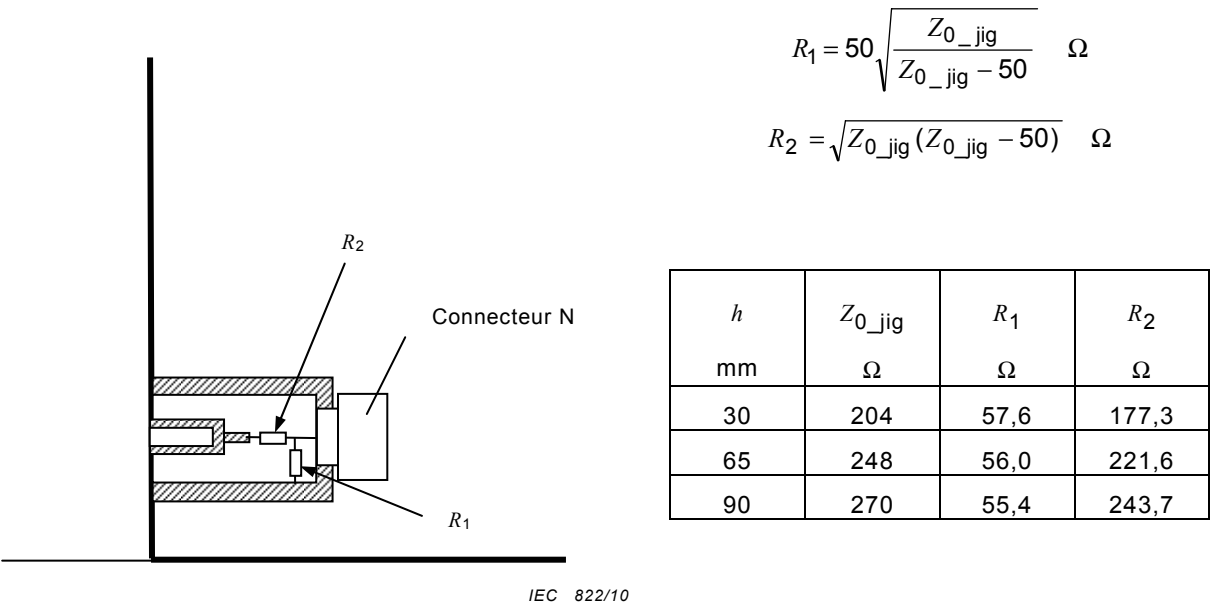


Figure 28 – Exemple d'adaptateur avec réseau d'adaptation résistif

Annexe A (normative)

Paramètres des antennes

A.1 Généralités

Différentes publications du CISPR spécifient l'utilisation d'antennes particulières pour la réalisation des mesures. D'autres types d'antennes peuvent être utilisés si les résultats sont équivalents à ceux obtenus avec l'antenne spécifiée. La comparaison de ces antennes avec les antennes spécifiées sera facilitée par l'établissement de la liste des paramètres appropriés. Ces paramètres doivent être spécifiés comme partie intégrante de toute acceptation par le CISPR d'un nouveau type d'antenne. Les fabricants d'antennes doivent également utiliser cette information comme ligne directrice pour la spécification des aspects les plus utiles des antennes utilisées pour les mesures d'émissions rayonnées. Il est recommandé aux fabricants de fournir des informations génériques sur chaque modèle d'antenne y compris les paramètres suivants: le facteur d'antenne en espace libre dans un système à 50 Ω , l'affaiblissement de réflexion, les diagrammes de rayonnement à des intervalles de fréquences suffisants pour indiquer des modifications significatives (ce qui inclut les informations d'ouverture de faisceau) et les valeurs d'incertitude en fonction de la fréquence tenant compte de l'écart avec le facteur d'antenne en espace libre causé par le couplage mutuel vers un plan de sol, lorsque l'antenne est balayée à une hauteur comprise entre 1 m et 4 m.

A.2 Antennes préférentielles

A.2.1 Généralités

En présence d'une non-conformité présumée à la limite du champ E , la valeur mesurée par une antenne à faible incertitude est préférable. Une antenne à faible incertitude est une antenne avec laquelle le champ peut être mesuré sur un montage d'essai du CISPR avec une incertitude inférieure à celle qui est exigée pour d'autres antennes satisfaisant au critère de précision de champ de 4.2. Les antennes à faible incertitude sont décrites en A.2.3.

A.2.2 Antenne calculable

L'antenne doublet standard calculable atteint l'incertitude la plus faible pour les mesures de champ E . Le facteur d'antenne peut être calculé pour l'espace libre et à toutes hauteurs et polarisation au-dessus d'un plan de sol bien défini. Le principe du doublet standard calculable est décrit dans la CISPR 16-1-5 dans laquelle seule la condition résonante est décrite. Toutefois, en utilisant une modélisation électromagnétique numérique largement disponible, on peut calculer le facteur d'antenne pour une longueur de doublet unique sur une large bande de fréquences avec des incertitudes inférieures à $\pm 0,3$ dB. Par exemple, pour une mesure à 30 MHz, on peut utiliser le doublet qui est résonant à 80 MHz. Ce principe peut être étendu à des antennes multifilaires qui couvrent une largeur de bande encore plus grande.

A.2.3 Antennes à faible incertitude

Les antennes à faible incertitude sont les antennes biconiques et LPDA, dont les paramètres fondamentaux sont décrits dans l'alinéa suivant. Elles sont à large bande et ont une sensibilité raisonnable, c'est-à-dire que leurs facteurs d'antenne ne sont pas trop élevés. Les doublets calculables peuvent être utilisés et ont potentiellement l'incertitude la plus faible. La réponse en polarisation croisée doit satisfaire aux exigences de 4.5.5 et tout symétriseur doit satisfaire aux exigences énoncées en 4.5.4. Le facteur d'antenne doit être déterminé par un laboratoire d'étalonnage qui fournit la traçabilité avec les normes nationales et il est choisi pour minimiser l'incertitude de la détermination du facteur d'antenne.

Les types approuvés sont l'antenne biconique utilisée sur la gamme de fréquences de 30 MHz à 250 MHz et l'antenne LPDA sur la gamme de fréquences de 250 MHz à 1 GHz. Ce qui explique cette fréquence de convergence, c'est que l'antenne LPDA a une erreur de centre de phase due à sa longueur qui est réduite à partir de 250 MHz et que la plupart des antennes biconiques sont affectées par une résonance au-delà de 290 MHz et présentent une distorsion du diagramme de rayonnement au-delà de 260 MHz sauf si des éléments de structure ouverts sont utilisés (portables ou démontables). La fréquence de convergence entre antennes biconiques et LPDA peut être comprise entre 200 MHz et 250 MHz avec une légère augmentation de l'incertitude de centre de phase associée aux antennes LPDA en dessous de 250 MHz. L'antenne hybride qui couvre toute la bande de fréquences entre 30 MHz et 1 000 MHz ne fait pas partie des types préférentiels parce que les incertitudes sont supérieures à celles des antennes biconiques et LPDA, essentiellement en raison de la longueur supérieure de l'antenne, en particulier lors d'une utilisation à 3 m de la source (par opposition à 10 m).

L'antenne biconique à faible incertitude a une longueur d'extrémité à extrémité d'élément d'environ $1,35 \text{ m} \pm 0,03 \text{ m}$ (en fonction de la largeur du symétriseur), six éléments filaires formant un cône, le diamètre le plus important étant d'environ 0,52 m. Le symétriseur doit être de 200Ω (rapport de transformateur 200Ω sur 50Ω), ce qui garantit une meilleure sensibilité à 30 MHz et un plus faible couplage mutuel avec l'environnement.

NOTE L'antenne biconique est basée sur le modèle original de la norme MIL STD 461A [8], conçu pour fonctionner de 20 MHz à 200 MHz. La conception avec élément démontable donne de meilleures performances que la conception avec élément « cage » au-delà de 250 MHz.

La LPDA à faible incertitude est conçue pour avoir une fréquence de 200 MHz comme valeur la plus faible (c'est-à-dire que l'élément le plus long résonne à 200 MHz, environ 0,75 m) et une longueur de $0,75 \text{ m} \pm 0,12 \text{ m}$, entre les éléments le plus long et le plus court, ces derniers résonant au-delà de 1 GHz. La raison pour laquelle il n'y a pas d'élément le plus long à 250 MHz est qu'il n'est pas limité par un réseau et que le diagramme de rayonnement est déformé. La longueur d'antenne de 0,75 m le distingue des antennes de deux fois la longueur qui atteignent un gain plus élevé, mais auront une erreur de centre de phase plus élevée et des antennes de moins de 0,6 m de longueur qui ne sont pas susceptibles d'avoir un facteur d'antenne qui augmente progressivement et de manière régulière avec la fréquence (toute augmentation brutale du facteur d'antenne ne s'écartant pas de plus de 1,5 dB d'une ligne de régression sur toute la gamme de fréquences).

A.3 Antennes doublets simples

A.3.1 Généralités

Si un laboratoire ne peut pas faire étalonner une antenne, une alternative consiste à utiliser un doublet, soit sous la forme d'un doublet calculable, soit sous la forme d'un doublet accordé. Un doublet accordé est relativement simple à construire et donne une faible incertitude pour la mesure du champ comparable aux antennes décrites à l'Article A.2. Les facteurs d'antenne d'un doublet accordé doivent être mesurés soit par un laboratoire assurant la traçabilité par rapport aux normes nationales et qui essaie de minimiser l'incertitude de la détermination du facteur d'antenne, soit par une mesure de la perte d'insertion de l'emplacement entre deux doublets similaires au-dessus d'un plan de sol (en conformité avec l'Annexe D) et en le comparant au couplage calculé, autorisant l'affaiblissement des symétriseurs - voir Annexe C de la CISPR 16-1-5. Un inconvénient du doublet accordé est sa grande longueur à l'extrémité inférieure de la gamme de fréquences, il a par exemple une longueur de 4,8 m à 30 MHz, ce qui à une distance de mesure de 3 m donnera des erreurs causées par les gradients d'amplitude et de phase. Un doublet est aussi très sensible à son environnement lorsqu'il est accordé de manière telle que l'impédance mutuelle avec son image dans le plan de sol puisse modifier le facteur d'antenne jusqu'à 6 dB pour un doublet à 30 MHz polarisé horizontalement exploré à une hauteur entre 1 m et 4 m du plan de sol. Pour cette raison, un doublet court accordé à 80 MHz est recommandé pour une utilisation en dessous de 80 MHz.

A.3.2 Doublet accordé

Une conception pratique et simple d'un doublet accordé comprend un doublet résonant à une demi-longueur d'onde avec un tronçon symétriseur coaxial série-parallèle. Les longueurs des doublets d'extrémité à extrémité sont d'environ 0,48 longueur d'onde en fonction du rayon de l'élément du doublet. Les facteurs d'antenne en espace libre peuvent être calculés d'après l'équation suivante qui donne le facteur en décibels. Celle-ci n'inclut pas l'affaiblissement du symétriseur, pour lequel une valeur moyennée de 0,5 dB peut être ajoutée au facteur d'antenne; ce facteur d'affaiblissement doit être vérifié.

$$F_a(\text{dB}) = 20 \log(f_M) - 31,4$$

où f_M est la fréquence en MHz.

Comme le doublet accordé est plus sensible à son environnement qu'une antenne à large bande (sauf à sa fréquence de résonance, à l'exclusion des LPDA), il est improbable que l'incertitude globale d'utilisation d'un doublet accordé soit inférieure à celle des antennes de faible incertitude de 4.5.2.

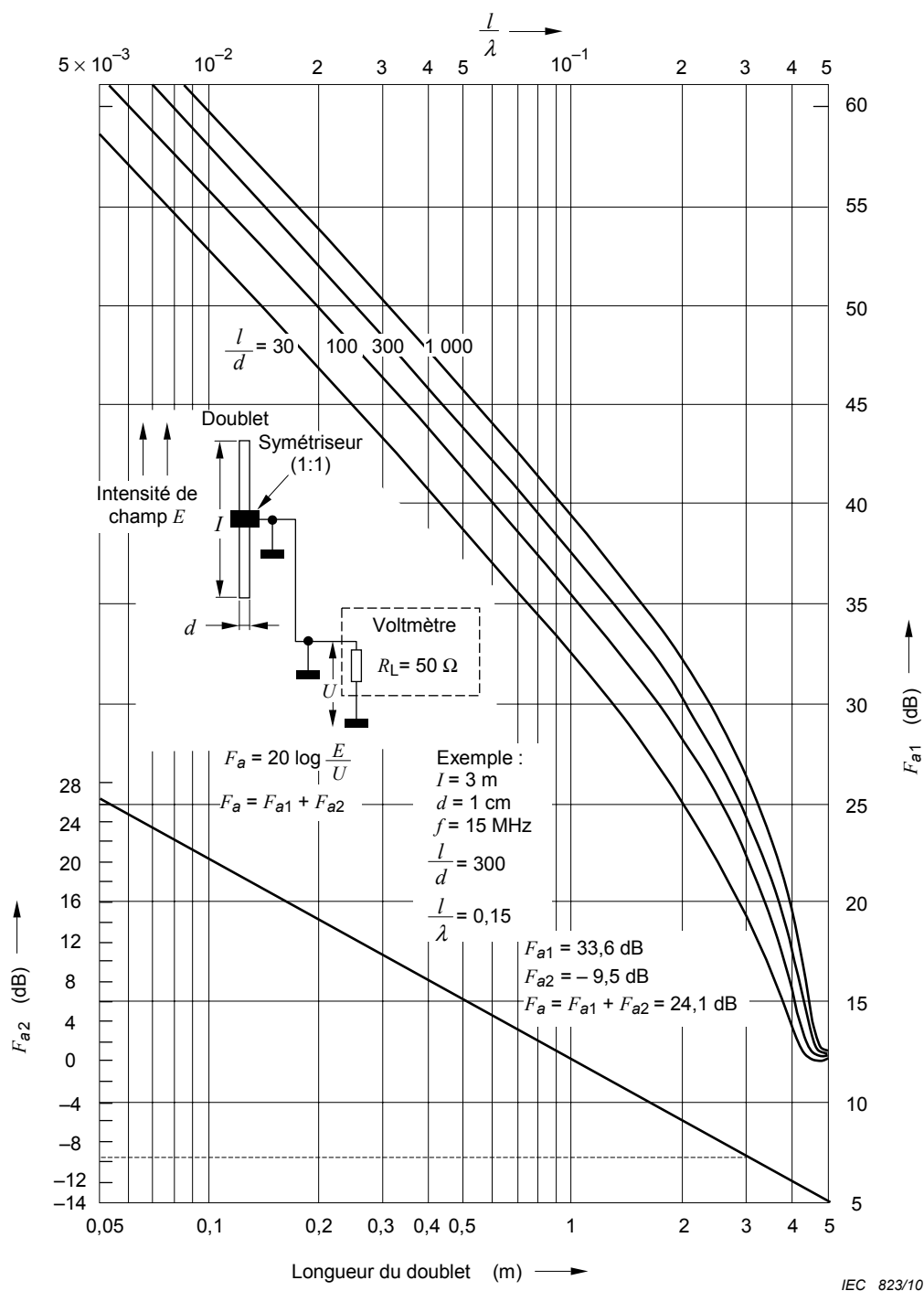
A.3.3 Doublet raccourci

Un doublet plus court qu'une demi-longueur d'onde peut être employé à condition:

- a) que la longueur totale soit supérieure à 1/10 de la longueur d'onde à la fréquence de mesure;
- b) qu'il soit raccourci à un câble suffisamment bien adapté au récepteur pour assurer un affaiblissement de réflexion à l'entrée du câble d'une valeur supérieure à 10 dB. L'étalonnage doit tenir compte de l'affaiblissement de réflexion;
- c) qu'il ait une discrimination de polarisation équivalente à celle d'un doublet accordé (voir 4.5.3). A cette fin, un symétriseur peut être utile;
- d) que, pour la détermination du champ mesuré, une courbe d'étalonnage (facteur d'antenne) soit définie et utilisée à la distance de mesure spécifiée (c'est-à-dire à une distance au moins égale à trois fois la longueur du doublet);

NOTE Il convient que les facteurs d'antenne ainsi obtenus permettent de satisfaire à l'exigence de mesure de champs sinusoïdaux uniformes avec une précision d'au moins ± 3 dB. Des exemples de courbes d'étalonnage sont donnés à la Figure A.1, ils montrent la relation théorique entre le champ et la tension d'entrée du récepteur pour une impédance d'entrée de récepteur de 50 Ω et pour différents rapports l/d . Sur cette figure, le symétriseur est considéré comme un transformateur idéal de rapport 1:1. Il convient toutefois de noter que ces courbes ne tiennent pas compte des pertes du symétriseur, du câble et des désadaptations éventuelles entre le câble et le récepteur.

- e) qu'en dépit de la réduction de sensibilité du mesureur de champ, à cause d'un facteur d'antenne élevé attribué à la longueur réduite du doublet, la limite de mesure du mesureur de champ (déterminée, par exemple, par le bruit du récepteur et le facteur de transmission du doublet) doit rester inférieure d'au moins 10 dB au niveau du signal mesuré.



NOTE Voir Note de A.3.3, point d).

Figure A.1 – Facteurs d'antenne des doublets courts pour $R_L = 50 \Omega$

A.4 Paramètres des antennes à large bande

A.4.1 Généralités

Les antennes à large bande utilisées pour les mesures du CISPR sont les antennes qui sont polarisées linéairement et qui sont destinées à être utilisées sur une large gamme de fréquences. Cela n'empêche pas d'utiliser des antennes avec réglage de longueur limité ou addition de sections d'éléments d'antenne. L'impédance d'entrée de telles antennes est généralement une grandeur complexe. Les autres paramètres qui peuvent être spécifiés sont donnés ci-dessous.

A.4.2 Type d'antenne

A.4.2.1 Généralités

Les paragraphes suivants décrivent les paramètres physiques des antennes à large bande qu'il convient de fournir. On notera que certains paramètres peuvent ne pas s'appliquer à chaque antenne.

A.4.2.2 Type d'antenne de longueur ou diamètre fixe ou variable

Si l'antenne a une longueur variable, spécifier le nombre de sections que l'on peut ajouter ou retirer afin de modifier la longueur fixe de base.

NOTE Les antennes entièrement accordables ne sont pas considérées comme des antennes à large bande et, par conséquent, ne sont pas spécifiées ici. Le diamètre d'une antenne cadre n'est généralement pas variable.

A.4.2.3 Rapport largeur-profondeur ou diamètre du cadre

Donner les dimensions en mètres. Pour un réseau log-périodique par exemple, il convient de donner la longueur du bras dans l'axe de mesure et la largeur du plus grand élément.

A.4.2.4 Antenne active ou passive

Une antenne à large bande est considérée comme une antenne active si elle comporte des amplificateurs, des préamplificateurs et d'autres dispositifs actifs non linéaires qui amplifient le signal et/ou corrigent la réponse en fréquence.

A.4.2.5 Disposition de montage

Donner toute exigence spéciale de montage en plus de celles qui peuvent être remplies à l'aide d'un trépied type ou d'un positionneur d'antenne.

A.4.2.6 Type de connecteur

Spécifier le type: BNC, N, SMA, etc., selon le cas. Spécifier la tolérance de profondeur de la broche et indiquer qu'il convient de la vérifier avec un calibre de profondeur de broche.

A.4.2.7 Type de symétriseur

Spécifier si le symétriseur est discret, distribué, accordable, etc. Spécifier le rapport de transformateur du symétriseur.

A.4.3 Spécification de l'antenne

A.4.3.1 Gamme de fréquences

Spécifier la gamme de fréquences, en mégahertz ou en kilohertz, dans laquelle l'antenne fonctionne avec les caractéristiques données. Spécifier également la caractéristique de décroissance, si elle existe, à chaque extrémité de la gamme (en décibels par octave).

A.4.3.2 Gain et facteur d'antenne

A.4.3.2.1 Gain

Spécifier le gain type ou le gain réel, en décibels par rapport à l'antenne isotrope (dBi).

A.4.3.2.2 Facteur d'antenne

Spécifier le facteur d'antenne type ou réel en décibels par mètre. Des procédures d'étalonnage d'antenne sont à l'étude et en cours d'élaboration pour la CISPR 16-1-5 (voir aussi A.4.4).

Il convient de mesurer le gain et le facteur d'antenne en utilisant la procédure d'étalonnage donnée en A.4.4.

A.4.3.3 Directivité et diagramme pour la polarisation linéaire

Spécifier le diagramme d'antenne et la directivité en degrés, par un tracé en coordonnées polaires dans les deux plans *E* et *H* à un nombre suffisant de fréquences qui montre toute modification significative avec la fréquence. Pour les antennes ayant une directivité relativement faible (par exemple inférieure à 6 dBi), spécifier le rapport avant-arrière en décibels. Si le diagramme est omnidirectionnel, par exemple un diagramme de doublet hertzien, l'indiquer.

A.4.3.4 VSWR (rapport d'ondes stationnaires en tension) et impédance

Indiquer l'affaiblissement de réflexion minimal et l'impédance d'entrée nominale en ohms. De plus, l'affaiblissement de réflexion minimal peut être exprimé en tant que VSWR maximal.

A.4.3.5 Caractéristiques des antennes actives

Pour les antennes avec amplificateur, spécifier les niveaux des produits d'intermodulation, le niveau d'immunité aux champs électriques et magnétiques extérieurs et toute vérification appropriée permettant de déterminer une surcharge ou un fonctionnement anormal.

A.4.3.6 Puissance maximale

Pour l'utilisation en émission en essai d'immunité, spécifier la puissance maximale permanente et transitoire en watts.

A.4.3.7 Autres conditions

Spécifier les gammes de température et d'humidité dans lesquelles l'antenne fonctionne ainsi que toutes les précautions nécessaires pour une utilisation en espace non protégé exposé aux conditions météorologiques.

A.4.4 Étalonnage de l'antenne

A.4.4.1 Méthode d'étalonnage pour la mesure des émissions

Indiquer la méthode utilisée pour l'étalonnage, à savoir:

- a) par le calcul (indiquer la formule utilisée);
- b) par la mesure (indiquer la méthode ou la norme utilisée ou la traçabilité dans un laboratoire national d'étalonnage, et si les antennes sont étalonnées individuellement).

NOTE Pour les mesures d'immunité, l'étalonnage du champ est généralement effectué en utilisant une antenne de réception étalonnée ou une sonde de champ, située à la place de l'EUT soumis au rayonnement. Par conséquent, il n'est pas nécessaire d'étalonner l'antenne d'émission.

A.4.4.2 Intervalle de fréquence

Indiquer les fréquences, en mégahertz ou en kilohertz, utilisées au cours de la procédure d'étalonnage; indiquer si une procédure par balayage en fréquence est utilisée.

A.4.4.3 Précision de l'étalonnage

Spécifier l'incertitude de l'étalonnage en décibels en plus et en moins. Indiquer la valeur de l'incertitude dans le cas le plus défavorable et la partie de la bande de fréquences correspondante.

A.4.4.4 Corrélation avec les antennes préférentielles ou les antennes spécifiées

Si l'antenne est destinée à être substituée (utilisée à la place) à une antenne préférentielle ou à une antenne spécifiée citée dans une publication du CISPR, indiquer tous les facteurs de corrélation, en décibels, permettant de rendre les résultats obtenus avec l'antenne large bande égaux à ceux obtenus avec l'antenne préférentielle ou avec l'antenne spécifiée. Indiquer également tout facteur de conversion utilisé, par exemple pour permettre une conversion à partir de la valeur du champ magnétique ou réciproquement, ou pour toute autre conversion d'unité de mesure autre que celle de la valeur du champ.

A.4.4.5 Unités

Spécifier l'étalonnage dans les unités nécessaires pour effectuer des mesures de champ magnétique ou de champ E en émission.

A.4.5 Informations pour les utilisateurs de l'antenne

A.4.5.1 Utilisation de l'antenne

Fournir une description de l'utilisation de l'antenne. S'assurer que toutes les précautions ou les limitations spécifiques sont mentionnées afin de réduire les risques d'une mauvaise utilisation.

A.4.5.2 Limitations physiques

Indiquer s'il existe de quelconques limitations physiques pour l'utilisation de l'antenne, telles que les suivantes:

- a) hauteur minimale au-dessus du plan de sol;
- b) polarisation préférentielle par rapport au plan de sol;
- c) utilisation spéciale, c'est-à-dire utilisation en antenne de réception ou en antenne d'émission uniquement. Cela est normalement limité à la puissance maximale admissible du symétriseur pour les antennes passives ou les caractéristiques non bidirectionnelles des antennes actives. Indiquer si la puissance est limitée par des arcs traversant les raccordements d'éléments d'antenne non soudés;
- d) simple vérification ohmique pour déterminer l'intégrité de la continuité électrique de l'antenne;
- e) distance minimale entre l'EUT mesuré et l'élément de l'antenne le plus proche.

Annexe B (normative)

Équations donnant les caractéristiques de l'antenne monopole (antenne fouet de 1 m) et caractérisation du réseau d'adaptation associé à l'antenne

B.1 Description

B.1.1 Introduction au système d'antenne monopole (fouet de 1 m)

Les antennes monopoles (fouet) sont habituellement employées aux fréquences inférieures à 30 MHz, mais sont parfois utilisées à des fréquences supérieures. En raison de la grande longueur d'onde associée à la gamme des basses fréquences, les méthodes utilisées pour étalonner ou caractériser les antennes à des fréquences plus élevées ne s'appliquent pas. Les techniques définies dans cette annexe sont applicables à des fréquences jusqu'à 30 MHz. Avec des précautions, cette méthode a été utilisée commercialement avec une erreur faible (moins de 1 dB).

NOTE La présente Annexe est basée sur [12].

La méthode principale pour rattacher le facteur d'antenne à des normes nationales consiste à illuminer toute l'antenne par une onde plane. La présente annexe donne une autre méthode, le remplacement de l'élément monopole par un condensateur. Bien qu'il soit possible de déterminer le facteur d'antenne par la méthode de substitution par condensateur, cela demande des connaissances d'expert pour obtenir le facteur d'antenne réel à ± 1 dB pendant la procédure d'étalonnage réelle. C'est spécialement le cas lors de la conception des dispositifs de montage pour des types d'antenne dont l'élément monopole ne peut être fixé par un connecteur coaxial. Enfin, la méthode de substitution par condensateur demande un soin particulier aux fréquences supérieures à 10 MHz et pour les antennes actives.

B.1.2 Équations des caractéristiques de l'antenne monopole (fouet)

Les équations suivantes sont utilisées pour calculer la hauteur effective, la capacité propre et le facteur de correction de hauteur des antennes fouet ou monopoles de dimensions inhabituelles.

Les équations sont valables seulement pour des antennes fouet cylindriques plus courtes que $\lambda/8$ [9]).

$$h_e = \frac{\lambda}{2\pi} \tan\left(\frac{\pi h}{\lambda}\right) \quad (\text{B.1})$$

$$C_a = \frac{55,6h}{\ln(2h/a) - 1} \times \frac{\tan(2\pi h/\lambda)}{(2\pi h/\lambda)} \quad (\text{B.2})$$

$$C_h = 20 \log(h_e) \quad (\text{B.3})$$

où

- h_e est la hauteur effective de l'antenne (m);
- h est la hauteur réelle de l'élément fouet (m);

- λ est la longueur d'onde (m);
- C_a est la capacité propre de l'antenne fouet (pF);
- a est le rayon de l'élément fouet (m);
- C_h est le facteur de correction de hauteur (dBm).

D'autres détails concernant l'Équation (B.1) sont disponibles dans [12], [13], [14] et pour l'Équation (B.2) dans [14], [15], [16], [17], [18], [19].

B.2 Méthode de caractérisation du réseau d'adaptation

B.2.1 Généralités

La méthode de substitution par capacité équivalente utilise une antenne fictive à la place de l'élément fouet réel. Le composant principal de l'antenne fictive est une capacité égale à la capacité propre du fouet ou monopole. Cette antenne fictive est alimentée par un générateur de signal et la sortie du réseau d'adaptation ou la sortie à l'embase de l'antenne est mesurée selon la configuration d'essai indiquée à la Figure B.1. Le facteur d'antenne F_a en dB (1/m) est donné par l'Équation (B.4).

$$F_a = V_D - V_L - C_h \quad (\text{B.4})$$

où

- V_D est la mesure du signal de sortie du générateur [dB (μV)];
- V_L est la mesure du signal de sortie du réseau d'adaptation [dB (μV)];
- C_h est le facteur de correction de hauteur (pour la hauteur effective) [dB (m)].

Pour l'antenne monopole (fouet de 1 m) employée habituellement dans les mesures de CEM, la hauteur effective (h_e) est de 0,5 m, le facteur de correction de hauteur (C_h) est de –6 dB(m) et la capacité propre (C_a) est de 10 pF.

NOTE Voir B.1.2 pour calculer la hauteur effective, le facteur de correction de hauteur et la capacité propre des antennes fouet de dimensions inhabituelles.

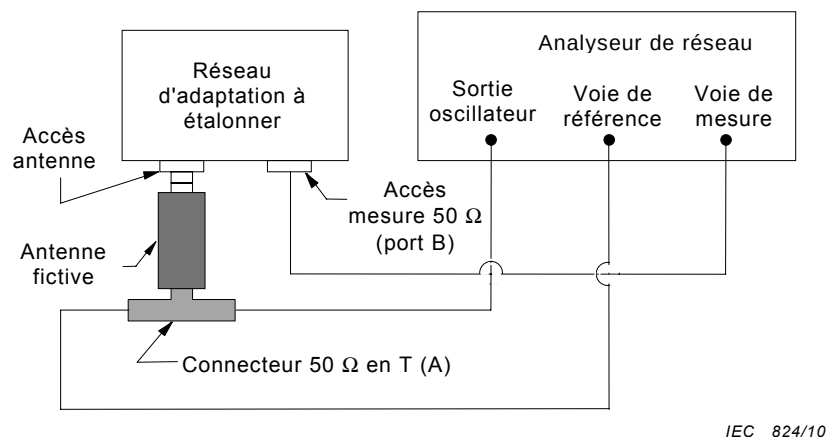
L'une des deux procédures doit être utilisée: la méthode de B.2.2 avec un analyseur de réseau, ou la méthode de B.2.3 avec un générateur de signal et un appareil de mesure de bruit RF. La même antenne fictive est employée dans les deux cas. Voir à l'Article B.3 les indications sur la réalisation d'une l'antenne fictive. Les mesures doivent être effectuées à un nombre suffisant de fréquences pour obtenir une courbe régulière du facteur d'antenne en fonction de la fréquence sur la plage d'utilisation de l'antenne, ou de 9 kHz à 30 MHz, en prenant la plus petite des deux.

B.2.2 Procédure utilisant un analyseur de réseau

La méthode de l'analyseur de réseau pour caractériser un réseau d'adaptation d'antenne est décrite dans ce paragraphe.

- a) Étalonner l'analyseur de réseau avec les câbles à utiliser pour les mesures.
- b) Installer le réseau d'adaptation à caractériser et le matériel de mesure comme indiqué à la Figure B.1.
- c) Soustraire le niveau du signal [en dB (μV)] obtenu sur la voie d'essai du niveau du signal [en dB (μV)] obtenu sur la voie de référence et soustraire C_h (à savoir, –6 dB pour un fouet de 1 m) pour obtenir la valeur [en dB (1/m)] du facteur d'antenne.

NOTE Aucun atténuateur n'est nécessaire avec l'analyseur de réseau car les impédances des voies de l'analyseur de réseau sont très proches de 50 Ω et toute erreur est compensée lors de l'étalonnage de l'analyseur de réseau. Des atténuateurs peuvent être utilisés si on le souhaite, mais les inclure complique l'étalonnage de l'analyseur de réseau.



NOTE 1 Placer l'antenne fictive aussi près que possible de l'accès de l'EUT. Placer le connecteur en T le plus près possible de l'antenne fictive. Utiliser des câbles de même longueur et de même type entre le connecteur en T et l'entrée de la voie de référence, ainsi qu'entre le connecteur en T et la voie de mesure de l'accès de mesure à 50 Ω .

NOTE 2 Aucun atténuateur n'est nécessaire avec un analyseur de réseau et cela n'est pas recommandé.

Figure B.1 – Méthode utilisant un analyseur de réseau

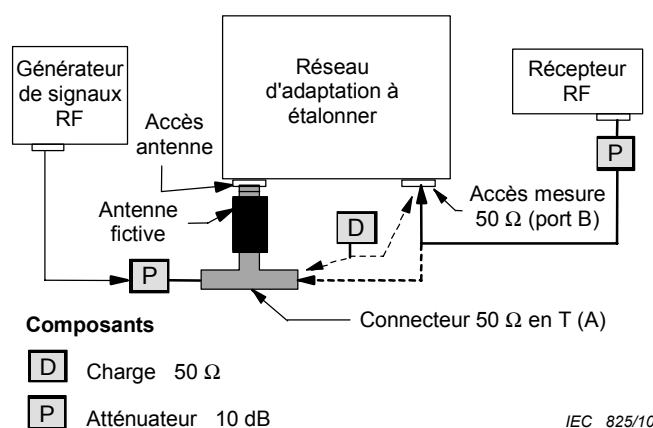
B.2.3 Procédure utilisant un récepteur de mesure et un générateur de signal

Ce paragraphe décrit la méthode de caractérisation d'un réseau d'adaptation utilisant un récepteur de mesure et un générateur de signal.

- Installer le réseau d'adaptation à caractériser et le matériel de mesure comme indiqué à la Figure B.2.
- Avec le matériel connecté comme indiqué et une charge de 50 Ω placée sur le connecteur en T (A), mesurer la tension du signal reçu V_L [en dB (μ V)] à la sortie RF (B).
- En laissant inchangée la sortie RF du générateur de signal, déplacer la charge 50 Ω à la sortie RF (B) et transférer le câble d'entrée du récepteur au connecteur en T (A). Mesurer la tension du signal de commande V_D [en dB (μ V)].
- Soustraire V_L de V_D puis soustraire C_h (à savoir, -6 dB pour un fouet de 1 m) afin d'obtenir la valeur [en dB (1/m)] du facteur d'antenne.

La charge de 50 Ω doit avoir un rapport d'ondes stationnaires très faible (SWR inférieur à 1,05:1). L'appareil de mesure du bruit RF doit être étalonné et doit avoir un faible SWR (rapport d'ondes stationnaires) (inférieur à 2:1). La sortie du générateur de signal doit avoir une fréquence et une amplitude de sortie stables.

NOTE Il n'est pas nécessaire d'étalonner le générateur de signal, car il est utilisé comme une référence intermédiaire.



NOTE 1 Placer l'antenne fictive le plus près possible de l'accès de l'EUT. Placer le connecteur en T le plus près possible de l'antenne fictive.

NOTE 2 Si les VSWR du récepteur et du générateur de signal sont faibles, il n'est pas nécessaire de prévoir des atténuateurs, ou ceux-ci peuvent être réduits à 6 dB ou à 3 dB.

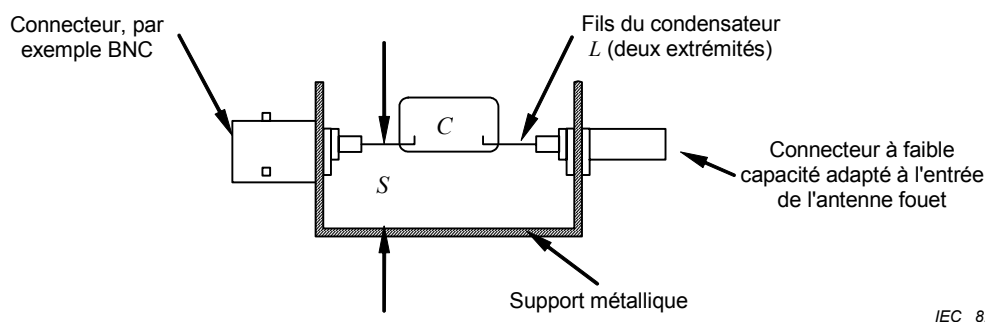
NOTE 3 L'antenne fictive peut contenir d'autres composants d'adaptation pour contrôler le VSWR à son entrée et le niveau du générateur de signal aux accès de mesure.

Figure B.2 – Méthode utilisant un récepteur de mesure et un générateur de signal

B.3 Considérations concernant l'antenne fictive

Le condensateur utilisé pour l'antenne fictive (simulée) doit être monté dans un coffret métallique de petites dimensions ou sur un support métallique de petites dimensions. Les connexions doivent être aussi courtes que possible, mais d'une longueur qui ne soit pas supérieure à 8 mm, et distantes de 5 mm à 10 mm de la surface de la boîte métallique ou du support. Voir la Figure B.3.

Le connecteur en T employé dans le montage de mesure du facteur d'antenne peut être incorporé au boîtier de l'antenne fictive. La résistance d'adaptation d'impédance au générateur peut aussi être montée incorporée au boîtier de l'antenne fictive.



Composants

- C capacité d'antenne (C_a) calculée d'après l'Équation (B.2), tolérance 5 %, argent mica
- S espace pour connexion, de 5 mm à 10 mm (10 mm de n'importe quelle paroi, si inséré dans un boîtier)
- L longueur des fils aussi courte que possible mais inférieure à 8 mm (longueur totale inférieure à 40 mm, y compris les deux fils du condensateur et la longueur du connecteur d'accès au fouet)

Figure B.3 – Exemple de montage du condensateur dans une antenne fictive

B.4 Application de l'antenne monopole (fouet)

Une antenne fouet monopole est habituellement conçue pour être utilisée avec un contrepoids ou montée sur un plan de masse. Pour obtenir des valeurs de champ correctes, il convient d'observer les instructions ou recommandations du fabricant concernant l'utilisation du contrepoids ou du plan de masse.

Si l'antenne utilise un élément fouet télescopique, l'élément doit être ajusté à la longueur spécifiée dans le manuel d'instructions du fabricant.

De nombreuses normes de mesure précisent que le contrepoids d'une antenne monopole (fouet) doit être relié au plan de masse ou au plan de masse du montage d'essai. Les exigences de la norme de mesure doivent être satisfaites.

Annexe C (normative)

Système d'antennes cadres pour les mesures du courant induit par un champ magnétique dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz

C.1 Généralités

La présente annexe contient des renseignements et des données relatifs au système d'antennes cadres (LAS) pour mesurer le courant induit dans la LAS par le champ magnétique émis par un seul EUT placé en son centre, dans la gamme de fréquences comprise entre 9 kHz et 30 MHz. Le Paragraphe 4.7 de la présente publication et la CISPR 16-2-3 traitent de ce LAS. Voir également [11].

Une description du LAS est fournie, ainsi que la méthode de validation des antennes du LAS. On donne des facteurs de conversion permettant d'établir la relation entre les données relatives au courant induit par le champ magnétique et les données du champ magnétique que l'on aurait obtenu si l'on avait effectué les mesures sur le même EUT en utilisant une antenne cadre à champ magnétique à boucle unique, placée à une distance déterminée de l'EUT.

C.2 Construction du système d'antennes cadres (LAS)

Le LAS (voir Figure C.1) est constitué de trois antennes de grand diamètre occupant des plans mutuellement perpendiculaires (LLA), décrites à l'Article C.3. Le LAS complet est monté sur un support non métallique.

Le câble coaxial de 50 Ω qui relie la sonde de courant d'une LLA au commutateur coaxial d'une part, et ce commutateur à l'appareil de mesure d'autre part, doit présenter une impédance de transfert de surface inférieure à 10 m Ω /m à 100 kHz, et à 1 m Ω /m à 10 MHz. Cette exigence est satisfaite par exemple en utilisant un câble coaxial à double tresse RG 223/U.

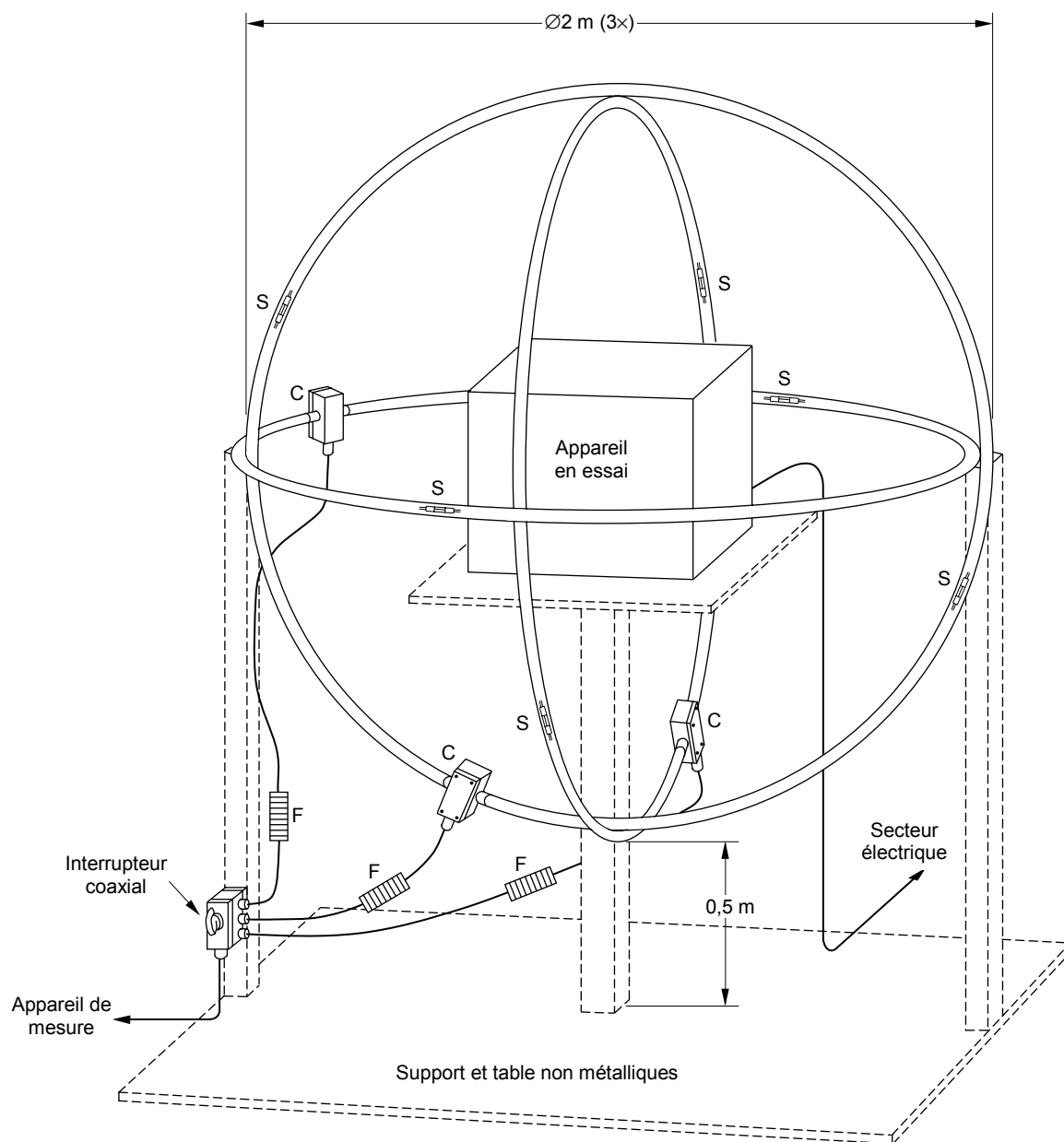
Tous les connecteurs doivent présenter une impédance de transfert de surface comparable à celle du câble coaxial. Cette condition est remplie si l'on utilise, par exemple, des connecteurs du type BNC à baïonnette de verrouillage de bonne qualité (voir [1]).

Tous les câbles doivent être munis d'absorbeurs en ferrite, F à la Figure C.1, procurant une résistance série en mode commun $R_s > 100 \Omega$ à 10 MHz. Cette condition est remplie en construisant le tore de ferrite, par exemple, avec douze bagues de type 3E1 de Ferroxcube (dimensions minimales: diamètre extérieur 29 mm, diamètre intérieur 19 mm, hauteur 7,5 mm).

C.3 Construction d'une antenne de grand diamètre (LLA)

Une antenne de grand diamètre (LLA) du LAS est constituée d'un câble coaxial dont l'impédance de transfert de surface a été spécifiée à l'Article C.2. De plus, la résistance de l'âme de la LLA doit être suffisamment faible (voir Note 1). Ces deux conditions sont remplies si l'on utilise, par exemple, un câble coaxial à double tresse RG 223/U.

Dans l'exemple illustré à la Figure C.2, pour maintenir la forme circulaire de la boucle et pour protéger les fentes, le câble est introduit dans un tube non métallique à paroi fine, de diamètre intérieur d'environ 25 mm. On peut également employer d'autres constructions non métalliques remplissant les mêmes fonctions.



IEC 827/10

Composants

- S fente de l'antenne
- C sonde de courant
- F absorbeur en ferrite

Figure C.1 – Système d'antennes cadres, constitué de trois antennes de grand diamètre mutuellement perpendiculaires

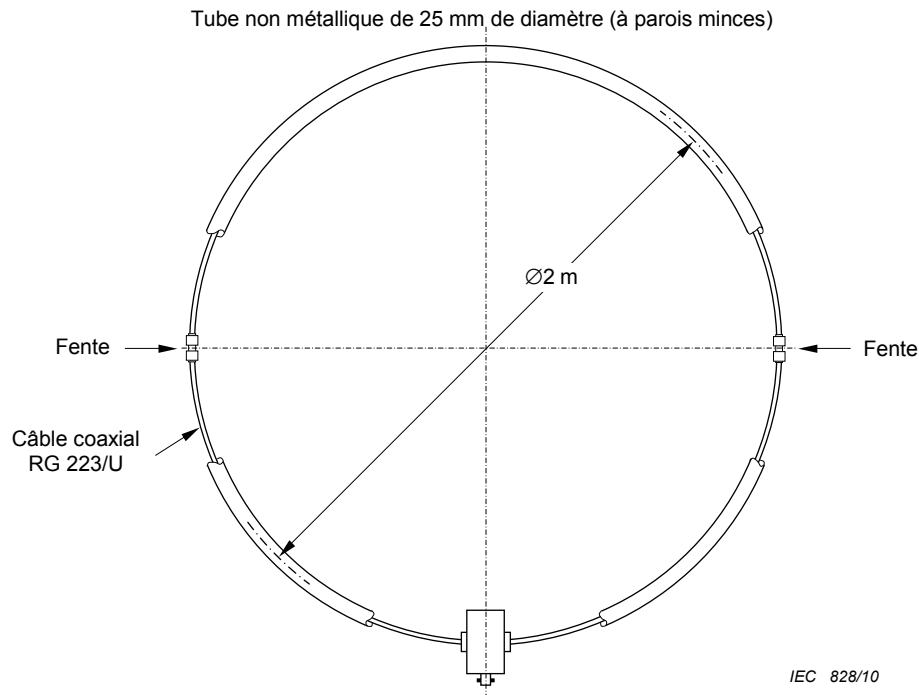


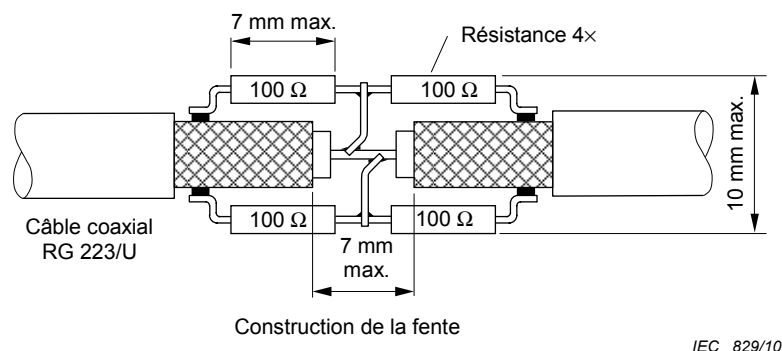
Figure C.2 – Antenne de grand diamètre, comportant deux fentes opposées, positionnées symétriquement par rapport à la sonde de courant

Le diamètre normalisé de l'antenne est fixé à $D = 2\text{ m}$. Si nécessaire, notamment dans le cas d'un EUT de grandes dimensions, on peut augmenter la valeur de D . Toutefois, dans la gamme des fréquences allant jusqu'à 30 MHz, le diamètre maximal admissible est de 4 m. Une augmentation supplémentaire du diamètre aurait pour conséquence des résonances non reproductibles de la réponse du LAS à l'extrémité haute fréquence de la gamme de mesure.

Il convient de noter que l'augmentation du diamètre s'accompagne d'une augmentation inversement proportionnelle de la sensibilité de l'antenne au bruit ambiant, et d'une réduction de la sensibilité aux signaux utiles proportionnelle au carré du diamètre.

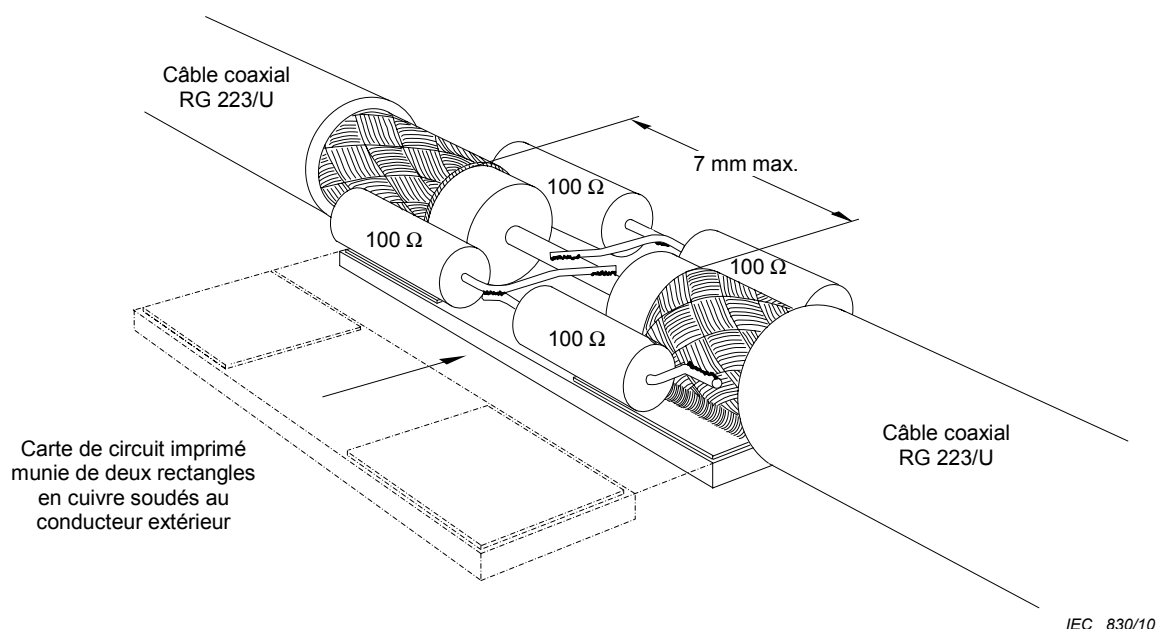
Une LLA comporte deux fentes opposées, positionnées symétriquement par rapport à sa sonde de courant (voir Figure C.2). La largeur de ces fentes, ménagées dans le conducteur extérieur du câble coaxial d'antenne (voir Figure C.3), doit être inférieure à 7 mm. La fente est pontée par deux ensembles parallèles de résistances de 100 Ω montées en série. Le centre de chacun de ces circuits série est relié à l'âme du câble coaxial d'antenne.

De part et d'autre de la fente, le conducteur extérieur du câble coaxial d'antenne peut être relié à une bande de circuit imprimé comportant deux rectangles en cuivre, séparés d'au moins 5 mm, destinés à obtenir une construction rigide de la fente (voir Figure C.4).



IEC 829/10

Figure C.3 – Construction de la fente de l'antenne



IEC 830/10

Figure C.4 – Exemple de construction de fente d'antenne utilisant une bande de circuit imprimé pour obtenir une construction rigide

La sonde de courant placée autour de l'âme du câble coaxial d'antenne doit avoir une sensibilité de 1 V/A dans la gamme de fréquences allant de 9 kHz à 30 MHz. L'affaiblissement d'insertion de la sonde de courant doit être suffisamment faible (voir Note 1).

Le conducteur extérieur de ce câble doit être relié au boîtier métallique contenant la sonde de courant (voir Figure C.5). Les dimensions maximales de ce boîtier sont les suivantes: largeur 80 mm, longueur 120 mm, hauteur 80 mm.

NOTE 1 Pour obtenir une courbe de réponse plate de la LLA à l'extrémité inférieure de la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz, il convient que l'affaiblissement d'insertion R_c de la sonde de courant soit très inférieur à $2\pi f L_c$ à $f = 9$ kHz, où L_c représente l'inductance de la sonde de courant. De plus, $(R_c + R_i) \ll X_i = 2\pi f L$ à 9 kHz, où R_i est la résistance de l'âme du câble de l'antenne cadre et L l'inductance de la boucle. Cette inductance a une circonférence d'environ 1,5 $\mu\text{H/m}$; on obtient donc pour la LLA normalisée $X_i \approx 0,5 \Omega$ à $f = 9$ kHz.

NOTE 2 Pour éviter les couplages capacitifs indésirables entre l'EUT et le LAS, il convient que la distance entre l'EUT et les composants de la LLA soit d'au moins 0,10 fois le diamètre de la boucle. Il convient de prêter une attention particulière aux conducteurs de l'EUT. Il convient que les câbles cheminent ensemble et sortent du volume de la boucle dans le même octant de la cellule, et à une distance supérieure à 0,4 m de l'un quelconque des cadres du LAS (voir Figure C.6).

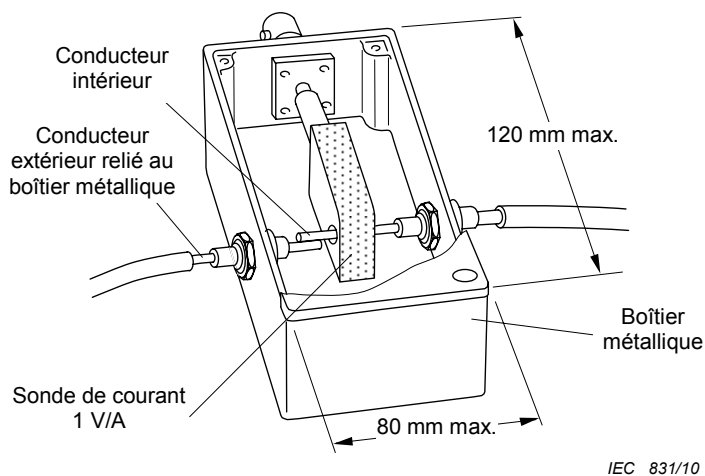


Figure C.5 – Construction du boîtier métallique renfermant la sonde de courant

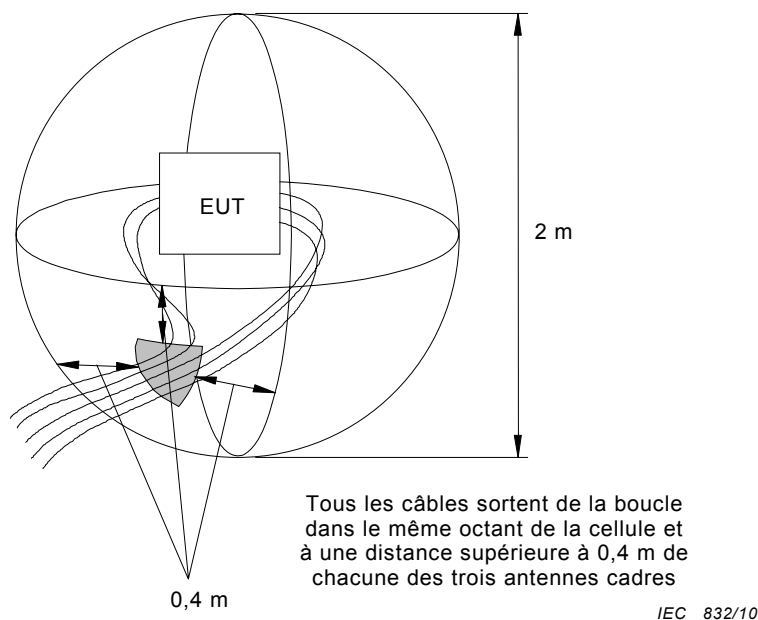


Figure C.6 – Exemple montrant le cheminement de plusieurs câbles de l'EUT afin de s'assurer qu'il n'y a pas de couplage capacitif entre les conducteurs et la boucle

C.4 Validation d'une antenne de grand diamètre (LLA)

La validation et l'étalonnage d'une antenne de grand diamètre (LLA) du système d'antennes cadres s'effectue par mesure du courant induit dans la LLA par le doublet symétrique/dissymétrique relié à un générateur RF à 50 Ω , décrit à l'Article C.5. Le champ magnétique émis par ce doublet permet de vérifier la sensibilité de la LLA au champ magnétique. Le champ E émis par le doublet symétrique/dissymétrique montre que la sensibilité au champ E de la LLA est suffisamment faible.

Le courant induit doit être mesuré en fonction de la fréquence dans la gamme allant de 9 kHz à 30 MHz pour les huit positions du doublet symétrique/dissymétrique, illustrées à la Figure C.7. Pendant cette mesure, le doublet symétrique/dissymétrique se trouve dans le plan de la LLA en essai.

Pour chacune des huit positions, le facteur de validation [exprimé en dB (Ω) = $20 \log (V_{g0}/I_1)$] de la tension en circuit ouvert du générateur RF (V_{g0}) et du courant mesuré (I_1) ne doit pas s'écarter de plus de ± 2 dB du facteur de validation indiqué à la Figure C.8.

Le facteur de validation indiqué à la Figure C.8 s'applique à une LLA circulaire de diamètre normalisé $D = 2$ m. Si le diamètre d'une LLA circulaire est différent de $D = 2$ m, le facteur de validation de la LLA non normalisée peut être déduit des données indiquées sur la Figure C.8 et la Figure C.11 (voir Article C.6).

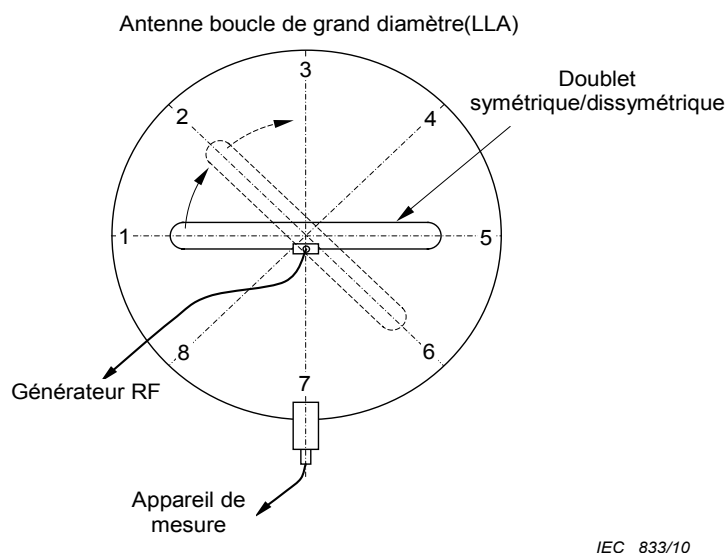


Figure C.7 – Les huit positions du doublet symétrique/dissymétrique durant la validation de l'antenne cadre de grand diamètre

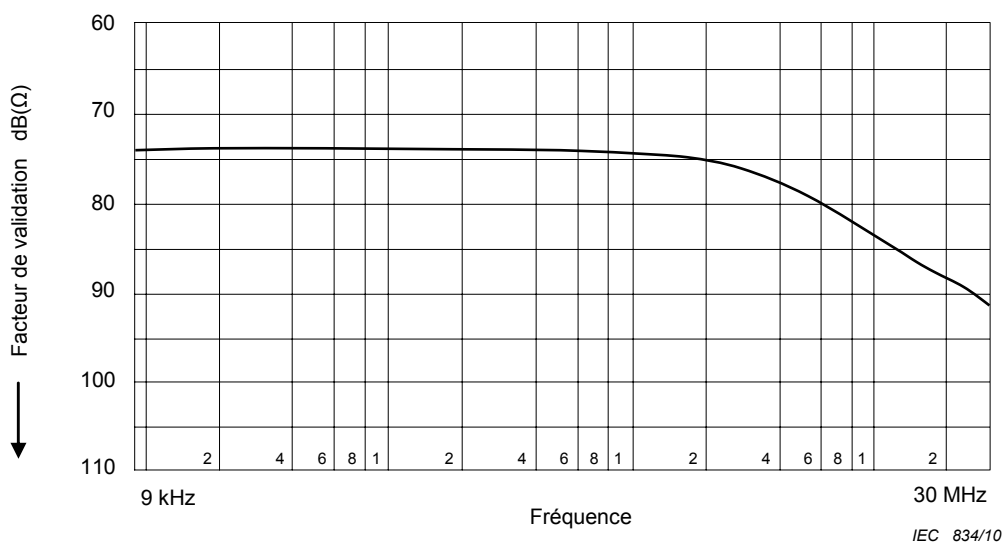


Figure C.8 – Facteur de validation d'une grande antenne cadre de 2 m de diamètre

C.5 Construction du doublet symétrique/dissymétrique

Le doublet symétrique/dissymétrique (Figure C.9), a été conçu pour émettre en même temps un champ magnétique qu'il convient que l'antenne mesure, et un champ E qu'il convient que la LLA rejette.

Le doublet symétrique/dissymétrique est construit à l'aide d'un câble coaxial RG 223/U. Sa largeur W est de 150 cm et sa hauteur H de 10 cm (distance mesurée de centre à centre du câble), comme illustré à la Figure C.9.

Une fente ménagée dans le conducteur extérieur du câble coaxial divise le doublet en deux moitiés. Une moitié de ce doublet, la moitié de droite sur la Figure C.9, est court-circuitée à proximité de la fente ainsi qu'à proximité du connecteur. Court-circuitée signifie que le conducteur extérieur et l'âme du câble coaxial sont électriquement reliés l'un à l'autre. Cette moitié est reliée à la masse de référence du connecteur BNC. L'âme du câble coaxial qui forme la moitié de gauche du doublet de la Figure C.9 est connectée à la broche centrale du connecteur BNC, et son conducteur extérieur à la masse de référence de ce connecteur BNC.

Un petit boîtier métallique assure le blindage des connexions au voisinage du connecteur du doublet. Le conducteur extérieur des deux moitiés du câble coaxial du doublet est relié à ce boîtier, de même que la masse de référence du connecteur BNC.

Pour obtenir une construction rigide, le doublet est supporté sur une base non conductrice.

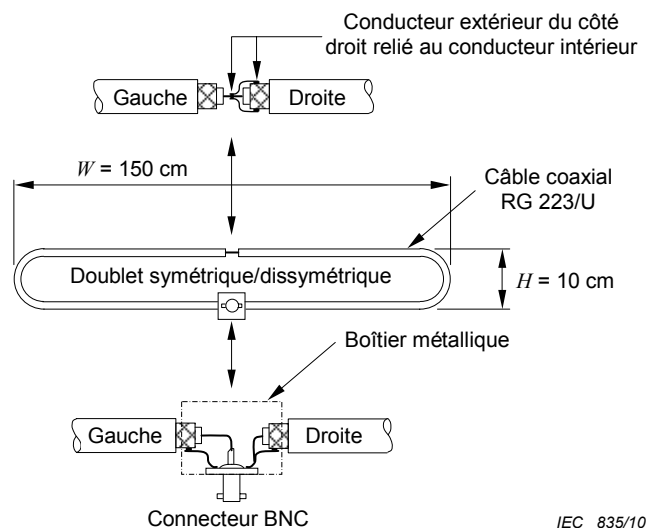


Figure C.9 – Construction du doublet symétrique/dissymétrique

C.6 Facteurs de conversion

Le présent article traite du facteur qui permet de convertir le courant (I) induit dans la LLA par l'EUT en un champ magnétique de valeur H , à une distance spécifiée de l'EUT (voir Figure C.10). Il traite en outre du facteur qui permet de convertir le courant mesuré dans une LLA de diamètre non normalisé, en un courant qui aurait été mesuré à l'aide d'une LLA de diamètre normalisé $D = 2$ m (voir Figure C.11).

Le facteur de conversion indiqué à la Figure C.10 s'applique à une source de champ magnétique placée au centre de la LLA, et dont le moment dipolaire est perpendiculaire au plan de cette LLA. Il convient de noter que, pour les antennes cadres spécifiées en 4.3, l'antenne cadre est toujours placée dans un plan vertical, et que l'EUT ne peut tourner qu'autour de son axe vertical. Dans ce cas, donc, seuls sont mesurés les moments dipolaires horizontaux, c'est-à-dire les moments dipolaires parallèles au plan de sol. Par conséquent, dans le cas d'un moment dipolaire vertical, on ne peut pas utiliser le facteur de conversion pour comparer les résultats des deux méthodes de mesure. On peut toutefois utiliser ce facteur lorsque, si l'on applique la méthode de mesure du champ magnétique, l'antenne cadre est dans un plan horizontal, ou lorsque, avec cette méthode, on incline l'EUT de 90° , de sorte que le moment vertical du doublet correspondant devient horizontal.

Si la position réelle d'une source de perturbations à l'intérieur d'un EUT se trouve à moins de 0,5 m du centre du LAS normalisé, les résultats de mesure s'écartent de moins de 3 dB de ceux obtenus lorsque cette source est centrée.

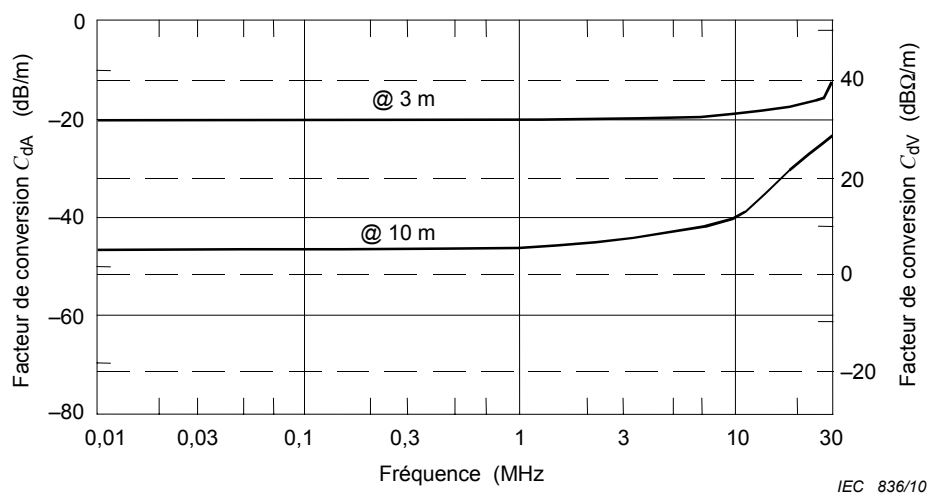


Figure C.10 – Facteurs de conversion C_{dA} [pour la conversion en dB ($\mu A/m$)] et C_{dV} (pour la conversion en dB ($\mu V/m$)) pour deux distances de mesure normalisées d

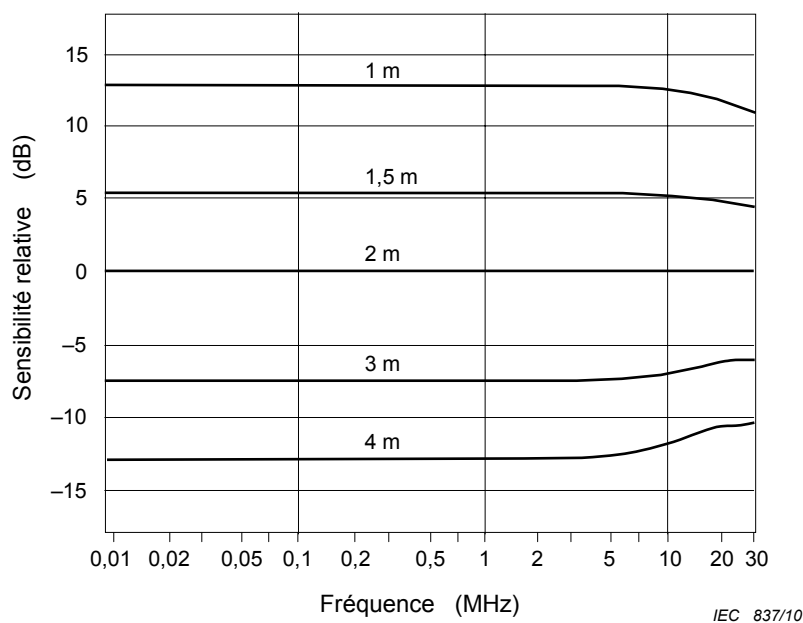


Figure C.11 – Sensibilité S_D d'une antenne de grand diamètre d'un diamètre D par rapport à une antenne de grand diamètre ayant un diamètre de 2 m

La relation entre l'intensité du champ magnétique H en dB ($\mu\text{A/m}$), mesurée à une distance d , et le courant I en dB (μA) est:

$$H = I + C_{dA}$$

où C_{dA} est le facteur de conversion courant-champ (en dB (m^{-1})) pour une certaine distance d , lorsque H est exprimé en dB ($\mu\text{A/m}$), voir aussi la note ci-dessous.

En général, le facteur de conversion dépend de la fréquence: la Figure C.10 présente C_{dA} pour des distances normalisées de 3 m et 10 m. En ce qui concerne la distance normalisée $d = 30$ m, le facteur de conversion est à l'étude.

Le rapport S_D , en décibels, entre le courant mesuré dans une LLA de diamètre D , en mètres, et le courant qui aurait été mesuré avec une LLA de diamètre normalisé $D = \text{m}$ est donné à la Figure C.11 pour plusieurs valeurs de D . Si l'on utilise ce rapport, l'équation précédente peut également s'écrire:

$$H = I - S_D + C_{dA}$$

où H est exprimée en dB ($\mu\text{A/m}$), I en dB (μA), S_D en dB et C_{dA} en dB (m^{-1}).

NOTE Pour le calcul des perturbations, le CISPR utilise l'intensité du champ magnétique H en dB ($\mu\text{A/m}$) plutôt qu'en dB ($\mu\text{V/m}$). Dans ce contexte, la relation entre H exprimée en dB ($\mu\text{A/m}$) et E exprimé en dB ($\mu\text{V/m}$) est la suivante:

$$E = H + 51,5$$

où E est exprimé en dB ($\mu\text{V/m}$) et H en dB ($\mu\text{A/m}$). La constante 51,5, en dB (Ω), est expliquée dans la Note de 4.3.2.

Par commodité, le facteur de conversion C_{dV} , convertissant I en dB (μA) en H en dB ($\mu\text{V/m}$) est également donné sur la Figure C.10.

Les exemples suivants expliquent l'utilisation des trois équations ci-dessus et des Figures C.10 et C.11.

- a) Sachant que: fréquence de mesure $f = 100$ kHz, diamètre de boucle $D = 2$ m, courant dans la boucle $I = X$ dB (μA).

Si l'on applique alors la première équation et la Figure C.10, on obtient:

$$\text{à } d = 3 \text{ m: } H [\text{dB } (\mu\text{A/m})] = X [\text{dB } (\mu\text{A})] + C_{3A} [\text{dB } (\text{m}^{-1})] = (X - 19,5) \text{ dB } (\mu\text{A/m})$$

$$\text{à } d = 3 \text{ m: } E [\text{dB } (\mu\text{V/m})] = X [\text{dB } (\mu\text{A})] + C_{3V} [\text{dB } (\Omega/\text{m})] = [X + (51,5 - 19,5)] \text{ dB } (\mu\text{V/m})$$

- b) Sachant que: fréquence de mesure $f = 100$ kHz, diamètre de boucle $D = 4$ m, courant dans la boucle $I = X$ dB (μA).

Si l'on utilise la Figure C.11, on constate que le même EUT aurait induit un courant:

$$I [\text{dB } (\mu\text{A})] = X - S_3 (\text{dB}) = (X + 13) \text{ dB } (\mu\text{A})$$

dans la LLA de diamètre normalisé $D = 2$ m.

- c) Sachant que: validation d'une LLA avec un diamètre $D = 3$ m.

On obtient alors le facteur de validation pour chaque fréquence en soustrayant du facteur de validation donné à la Figure C.8 la valeur de la sensibilité relative S_3 donnée à la Figure C.11. Ainsi, si la fréquence de mesure est de 100 kHz, le facteur de validation de la LLA pour laquelle $D = 3$ m est égal à $[73,5 - (-7,5)] = 81 \text{ dB}(\Omega)$.

Annexe D (normative)

Détails de construction des emplacements d'essai en zone dégagée dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz (voir Article 5)

D.1 Généralités

Les Paragraphes 5.2.1 à 5.2.5 donnent les principaux aspects de construction des emplacements d'essai en zone dégagée. Des détails supplémentaires, utiles pour assurer une bonne construction de l'emplacement et de l'enceinte tout temps, sont décrits dans la présente annexe. La meilleure manière de s'assurer de l'adéquation de ces pratiques est d'effectuer les mesures de NSA décrites en 5.2.6.

D.2 Construction du plan de sol

D.2.1 Matériau

Le métal est le matériau recommandé pour la construction du plan de sol des emplacements de mesure de champ. Cependant, pour des raisons pratiques, des plans de sol métalliques ne peuvent pas être spécifiés pour les mesures de tous les appareils. Des exemples de plans de sol métalliques comportent des tôles métalliques pleines, une feuille métallique, un métal perforé, un métal déployé, une toile métallique, un treillis métallique et une grille métallique. Il convient que le plan de sol ne présente ni vide ni espace dont les dimensions linéaires représentent une fraction appréciable d'une longueur d'onde à la fréquence de mesure la plus élevée. La taille maximale recommandée des ouvertures des plans de sol de type treillis, métal perforé, grille ou métal déployé est 1/10 de la longueur d'onde à la fréquence de mesure la plus élevée (environ 3 cm à 1 000 MHz). Il convient que les matériaux constitués de tôles, rouleaux ou morceaux individuels soient soudés ou brasés au niveau des raccordements, de préférence en continu, mais en aucun cas avec des espaces d'une longueur supérieure à 1/10 de la longueur d'onde. Les revêtements diélectriques épais tels que le sable, l'asphalte ou le bois au-dessus de plans de sol métalliques peuvent entraîner des caractéristiques d'affaiblissement de l'emplacement inacceptables.

D.2.2 Rugosité

Le critère de rugosité de Rayleigh fournit une estimation utile de la valeur quadratique maximale de la rugosité admissible pour le plan de sol (voir Figure D.1). Pour la plupart des emplacements d'essai habituels, en particulier pour les applications à une distance de 3 m, une rugosité allant jusqu'à 4,5 cm est sans conséquence sur les mesures. Une rugosité encore plus grande est admise pour les emplacements à 10 m et 30 m. On doit utiliser la procédure de validation d'emplacement de 5.2.6 pour déterminer si la rugosité est acceptable.

D.3 Servitudes de l'EUT

Il convient que l'alimentation électrique ou le câblage d'alimentation de l'EUT passe dans la plus grande longueur possible, sous le plan de sol, et de préférence à angle droit par rapport à l'axe de mesure. Il convient également que tous les fils, câbles, et canalisations arrivant à la table tournante ou au dispositif supportant l'EUT passent sous le plan de sol. Lorsqu'un cheminement enterré n'est pas possible, il convient que les servitudes de l'EUT soient placées au-dessus du plan de sol, mais au même niveau et fixées sur ce dernier.

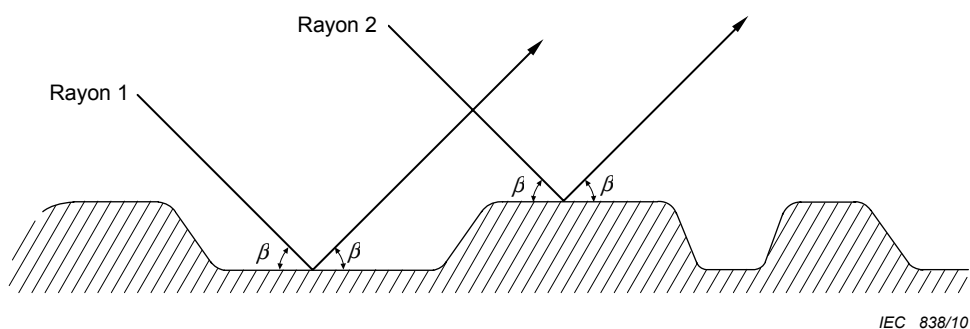


Figure D.1 – Critère de Rayleigh pour la rugosité du plan de sol

Distance de mesure R m	Hauteur de la source, h_1 m	Hauteur maximale de l'antenne de réception, h_2 m	Rugosité quadratique moyenne maximale b	
			En longueurs d'onde	À 1 000 MHz cm
3	1	4	0,15	4,5
10	1	4	0,28	8,4
30	2	6	0,49	14,7

Les valeurs de b sont calculées d'après la formule:

$$b = \frac{\lambda}{8 \sin \beta}$$

D.4 Construction de l'enceinte de protection contre les intempéries

D.4.1 Matériaux et attaches

Jusqu'à 1 000 MHz, de minces sections de fibre de verre et de la plupart des autres matières plastiques, de bois spécialement traités et de tissus ne provoquent aucun affaiblissement appréciable des émissions de l'EUT. L'absorption d'humidité par certains matériaux (par exemple le bois et le nylon) peut, cependant, entraîner des pertes de transmission, qui sont particulièrement critiques si les émissions de l'EUT sont mesurées au travers de tels matériaux. Il convient de prendre soin que des particules conductrices déposées par l'air et de l'eau ou de la glace ne s'accumulent pas sur la structure ou dans les matériaux formant la structure. Il convient d'effectuer périodiquement des contrôles pour s'assurer de l'absence d'objets étrangers susceptibles de se déposer sur la structure et d'entraîner des erreurs de mesure.

Il convient d'utiliser un minimum de métal au-dessus du plan de sol. L'utilisation d'attaches en matière plastique ou en tissu est fortement conseillée. Il convient que tous les points d'ancrage, pieux, ou fondations similaires soient suffisamment éloignés de la zone d'essai pour ne pas affecter la mesure.

D.4.2 Montages internes

Il convient que tous les éléments de structure soient non réfléchissants. Il convient que tous les ventilateurs ou conduits de chauffage, de refroidissement ou de ventilation soient à l'extérieur de la zone d'essai ou à l'extérieur de la structure, à moins qu'ils ne soient faits de matériau non conducteur et qu'ils passent sous un plan de sol métallique ou largement au-dessous d'un plan de sol non métallique. Un contrôle de la température et de l'humidité peut être nécessaire au fonctionnement de l'appareil. Il convient que toute isolation ou fenêtre soit

exempte de contre-plaqué ou encadrement métallique. Il convient également que les garde-fous ou escaliers soient non conducteurs s'ils sont situés au-dessus du plan de sol.

D.4.3 Taille

La taille d'une enceinte de protection contre les intempéries dépend de la taille de l'EUT et de la nécessité d'englober ou non l'antenne toute entière, ou uniquement la zone située au-dessus de l'EUT, la zone située au-dessus de l'appareil de mesure, ou la zone comprenant le positionneur d'antenne de réception et la plus grande partie de l'antenne de réception lorsqu'on effectue des mesures en polarisation verticale.

D.4.4 Stabilité dans le temps et aux conditions climatiques

On recommande d'effectuer périodiquement des mesures d'affaiblissement normalisé de l'emplacement afin de détecter toute anomalie provoquée par la dégradation de la protection contre les intempéries par les conditions climatiques (par exemple absorption d'humidité), ou la contamination des matériaux de l'enceinte. Cette mesure vérifie également l'étalonnage du câblage RF et des instruments d'essai. Un intervalle de six mois est en général convenable, à moins que des signes physiques indiquent plus tôt une dégradation des matériaux, c'est-à-dire des changements de couleur des matériaux provoqués par des polluants transportés par l'air.

D.5 Table tournante et table d'essai

Afin de faciliter la mesure des émissions électromagnétiques sur toutes les faces de l'EUT, il est recommandé d'utiliser une table tournante et une table pour supporter cet EUT. La table tournante comprend l'assemblage rotatif, et la table d'essai est utilisée pour le positionnement de l'EUT sur le site d'essai. Les trois configurations suivantes de table d'essai et de table tournante sont envisagées dans cet article.

- Pour les tables tournantes avec un assemblage rotatif situé au-dessous du niveau du sol, la surface tournante (dessus) doit être au niveau du plan de sol et y être connectée électriquement. Le dessus tournant supporte la table d'essai elle-même.
 - Pour les équipements de table, la hauteur de la table d'essai doit être de $0,8 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ et la table d'essai est placée de telle sorte que son centre dans le plan horizontal se situe au centre de la table tournante, qui constitue l'unité effectuant la rotation. Pour la mesure de NSA, la table d'essai doit être enlevée.
 - Pour les équipements posés au sol, l'EUT doit être isolé de la surface conductrice de la table tournante (qui est au niveau du plan de sol). La hauteur du support isolant doit aller jusqu'à $0,15 \text{ m}$, ou comme prescrit par le comité produit. L'utilisation d'un support isolant n'est pas nécessaire lorsque des roulettes non métalliques sont fournies avec le produit. Pour la mesure de NSA, le support isolant doit être enlevé.
- Pour les tables tournantes avec l'assemblage rotatif intégré dans la table d'essai et placé sur la table tournante (qui est au niveau du plan de sol) ou sur le plan de sol sans table tournante, la table d'essai doit avoir, soit une hauteur de $0,8 \text{ m} \pm 0,01 \text{ m}$ pour un équipement de table, soit une hauteur n'excédant pas $0,15 \text{ m}$ pour un équipement posé au sol. Pour la mesure de NSA, la table d'essai doit être enlevée.
- Dans une FAR, la hauteur de la table d'essai de l'EUT n'est pas définie et dépend de la performance du matériau absorbant et du volume d'essai de la FAR. Pour la mesure de NSA, la table d'essai doit être enlevée.

NOTE Il convient qu'un EUT/système incluant une table support en tant que partie intégrante de l'équipement en essai utilise la table support fournie avec le système et non la table d'essai utilisée sur le site d'essai.

D.6 Installation du mât de l'antenne de réception

Il convient de monter l'antenne de réception sur un support non conducteur permettant de la surélever entre 1 m et 4 m pour la mesure à des distances inférieures ou égale à 10 m, et entre 1 m et 4 m ou entre 2 m et 6 m pour des distances supérieures à 10 m. Le câble doit être connecté au symétriseur de l'antenne de telle façon que pour les antennes à polarisation horizontale, le câble soit orthogonal à l'axe des éléments de l'antenne à toutes les hauteurs d'antenne, afin de conserver la symétrie par rapport au sol.

Il convient que le câble sortant du symétriseur de l'antenne de réception tombe verticalement jusqu'au plan de sol à environ 1 m, ou plus, à l'arrière de l'antenne de réception. A partir de ce point, il convient de le maintenir sur ou sous le plan de sol, de façon à ne pas perturber la mesure. Il convient que le câble entre l'antenne et l'analyseur de perturbations soit aussi court que possible pour garantir des niveaux de signaux reçus acceptables à 1 000 MHz.

Pour les antennes du type doublet à polarisation verticale, il convient que le câble de connexion au récepteur de mesure soit maintenu horizontal, c'est-à-dire parallèle au plan de sol, sur une distance d'environ 1 m, ou plus, à l'arrière de l'antenne de réception (en s'éloignant de l'EUT) avant de descendre sur le plan de sol. Un bras d'antenne d'environ 1 m de longueur est suffisant. Le cheminement du reste du câble vers l'analyseur se fait de la même façon que dans le cas de l'antenne à polarisation horizontale.

Dans les deux cas, il convient que l'étalonnage du facteur d'antenne ne soit pas affecté par la présence des positionneurs d'antenne et par la disposition du câble coaxial fixé à l'antenne.

Annexe E (normative)

Procédure de validation de l'emplacement d'essai en zone dégagée pour la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz (voir Article 5)

E.1 Généralités

Le Paragraphe 5.2.6 contient les exigences générales et les procédures pour déterminer la validation de l'emplacement par mesures d'affaiblissement normalisé de l'emplacement. La présente annexe donne les procédures détaillées à appliquer pour les mesures de NSA.

E.2 Méthode de la fréquence discrète

E.2.1 Installation de mesure

Se référer aux Figures 4 et 5 pour les détails d'installation d'essai spécifiques. Le générateur de signaux est connecté à l'antenne d'émission par une longueur de ligne de transmission appropriée. L'antenne d'émission est placée à l'emplacement désiré. La hauteur de l'antenne d'émission est fixée à h_1 (voir Tableaux E.1, E.2 et E.3 pour les valeurs de h_1) et on choisit la polarisation désirée. Si l'on utilise un doublet accordable, sa longueur est réglée pour la fréquence requise.

L'antenne de réception est montée sur un mât permettant le balayage de toute la hauteur de $h_{2,min}$ à $h_{2,max}$, placé à une distance R de l'antenne d'émission et elle est connectée à un récepteur de mesure ou à un analyseur de spectre par l'intermédiaire d'une longueur appropriée de câble. On choisit la même polarisation que pour l'antenne d'émission et, si un doublet accordable est utilisé, l'antenne est réglée à la fréquence requise. La distance de 25 cm par rapport au sol est maintenue pour les doublets accordés orientés verticalement (voir Tableau E.3).

Pour toutes les mesures de NSA à l'aide de doublets accordables, on suppose que ces antennes sont accordées sur chaque fréquence, y compris les fréquences comprises entre 30 MHz et 80 MHz.

E.2.2 Procédure de mesure

Il convient d'exécuter les étapes suivantes pour chaque fréquence indiquée aux Tableaux E.1, E.2 et E.3. On effectue d'abord les mesures sur les antennes alignées horizontalement, puis sur les antennes alignées verticalement, la hauteur de l'antenne d'émission étant fixée à h_1 .

- 1) Régler le niveau de sortie du générateur de signal pour obtenir un affichage de la tension reçue largement au-dessus du bruit ambiant et du bruit du récepteur de mesure ou de l'analyseur de spectre.
- 2) Élever l'antenne de réception sur le mât sur la plage de balayage en hauteur h_2 comme indiqué dans les Tableaux E.1, E.2 et E.3, selon le cas.
- 3) Noter le niveau maximal du signal. Cette valeur est V_{SITE} dans l'Équation (6), en 5.2.6.2.
- 4) Déconnecter les câbles d'émission et de réception de leurs antennes. Connecter ces câbles directement au moyen d'un adaptateur.
- 5) Noter le niveau du signal, câbles d'émission et de réception connectés. Cette valeur est V_{DIRECT} dans l'Équation (6), en 5.2.6.2.
- 6) A chaque fréquence et pour chaque polarisation, introduire les valeurs des étapes 3) et 5) dans l'Équation (6), en 5.2.6.2.

- 7) Introduire les facteurs d'antenne d'émission et de réception à la fréquence de mesure, comme indiqué dans l'Équation (6).
- 8) Introduire le facteur de correction d'impédance mutuelle ΔF_{aTOT} du Tableau E.4, qui s'applique uniquement à la géométrie spécifique de la polarisation horizontale, avec des doublets accordables séparés de 3 m. $\Delta F_{aTOT} = 0$ pour toutes les autres géométries.
- 9) Résoudre l'Équation (6) pour A_N , qui est le NSA pour la fréquence de mesure et la polarisation utilisées.
- 10) Soustraire la valeur de l'étape 9) du NSA approprié figurant dans les Tableaux E.1, E.2 ou E.3, selon le cas.
- 11) Si les résultats de l'étape 10) sont inférieurs à ± 4 dB, l'emplacement est considéré comme étant validé à cette fréquence et cette polarisation.
- 12) Répéter les étapes 1) à 11) pour la combinaison de fréquence et de polarisation suivante.

E.3 Méthode par balayage de fréquence

E.3.1 Installation de mesure

L'installation est similaire à celle de E.2.1, à l'exception du fait que seules des antennes à large bande sont utilisées. Aucune restriction du mouvement des antennes à polarisation verticale n'est nécessaire en raison de la taille physique réduite de telles antennes à large bande.

E.3.2 Procédure de mesure

Il convient d'exécuter les étapes suivantes en utilisant des appareils de mesure automatiques dotés d'une capacité de maintien de crête (maintien de la valeur maximale), d'une capacité de mémorisation et d'un générateur de poursuite. Dans cette méthode, la hauteur de l'antenne de réception h_2 et la fréquence sont toutes deux balayées sur les gammes de fréquences requises. Les gammes de fréquences sont habituellement déterminées par le type d'antenne à large bande utilisée. La vitesse de balayage en fréquence doit être beaucoup plus grande que la vitesse de balayage en hauteur de l'antenne. Régler la hauteur de l'antenne d'émission à h_1 .

- 1) Régler le niveau de sortie du générateur de poursuite pour donner un affichage de la tension reçue largement supérieur au bruit ambiant et au bruit du récepteur de balayage ou de l'analyseur de spectre.
- 2) Élever l'antenne de réception sur le mât jusqu'à la hauteur maximale de la plage de balayage, comme indiqué dans le Tableau E.1.
- 3) Régler l'analyseur de spectre pour balayer la gamme de fréquences désirée. S'assurer que l'analyseur de spectre est réglé de telle façon qu'un signal similaire, d'une amplitude pouvant atteindre 60 dB de plus puisse être affiché sur la même échelle d'amplitude. Cela permet l'enregistrement des niveaux à l'étape 5).
- 4) Descendre lentement l'antenne de réception jusqu'à la hauteur minimale de la plage de balayage comme indiqué dans les tableaux correspondant à la géométrie appropriée à l'emplacement. Mémoriser ou enregistrer l'affichage de la tension maximale reçue V_R en dB (μV). (Il convient que le temps de descente de l'antenne soit très supérieur au temps de balayage de l'analyseur de spectre.)
- 5) Débrancher les câbles d'émission et de réception, et les raccorder directement au moyen d'un raccord adaptateur. Mémoriser ou enregistrer l'affichage de la tension résultante.
- 6) A chaque fréquence, soustraire la tension mesurée à l'étape 4) de la tension mesurée à l'étape 5). Soustraire également les facteurs d'antenne des antennes d'émission et de réception, respectivement F_{aTOT} (dB/m) et F_{aR} (dB/m). (On peut obtenir les facteurs d'antenne sous forme de fonction continue de la fréquence par simple ajustement linéaire de courbe sur un ensemble de valeurs discrètes du facteur d'antenne). Le résultat est la valeur A_N mesurée sur la gamme des fréquences utilisées, qu'il convient de tracer. Tracer également l'affaiblissement normalisé d'emplacement théorique pour un emplacement idéal donné au Tableau E.1.

- 7) Les différences trouvées entre la valeur théorique d' A_N et celle mesurée doivent satisfaire au critère de ± 4 dB.

NOTE Pour les deux méthodes de mesure du NSA, une désadaptation d'impédance à la sortie de la source de signal ou à l'entrée du récepteur de mesure ou de l'analyseur de spectre peut entraîner des réflexions génératrices d'erreurs. Il convient de l'éviter en utilisant des atténuateurs de 10 dB à la sortie de chaque câble d'antenne d'émission et de réception. Il convient que ces atténuateurs restent connectés aux câbles pendant toute la mesure du NSA.

E.4 Causes possibles de dépassement des limites d'acceptabilité

Si l'écart dépasse le critère de ± 4 dB, effectuer les vérifications suivantes.

Contrôler d'abord l'étalonnage du système de mesure. Si le générateur de signaux et les instruments de mesure ne dérivent pas pendant les mesures, les facteurs d'antenne sont d'abord à mettre en cause. Les antennes peuvent également être défectueuses. Si ces facteurs sont conformes, répéter la mesure. Si les différences sont toujours supérieures à ± 4 dB, l'emplacement et la zone environnante sont à mettre en cause. Il convient que l'affaiblissement vertical de l'emplacement soit en général celui qui est le plus sensible aux anomalies de l'emplacement. Si c'est le cas, utiliser cette mesure comme base de recherche des causes du problème. Des problèmes possibles comportent une construction et des dimensions inappropriées du plan de sol, la trop grande proximité d'objets réfléchissants (barrières, bâtiments, lampadaires, etc.), des performances dégradées des enceintes de protection contre les intempéries dues à des techniques de construction et de maintenance non appropriées, et des effets à long terme, tels que la pénétration de résidus polluants conducteurs transportés par l'air.

E.5 Étalonnage de l'antenne

Il convient de ramener à une norme nationale les facteurs d'antenne des antennes à large bande utilisées pour effectuer des mesures d'affaiblissement de l'emplacement. Les facteurs d'antenne communiqués par le fabricant peuvent ne pas être suffisamment précis pour permettre d'obtenir un accord correct entre les affaiblissements normalisés d'emplacement mesurés et calculés.

NOTE 1 Une norme distincte concernant l'étalonnage des antennes est à l'étude par le CISPR/A WG1.

Les facteurs d'antenne prennent généralement en compte les pertes dues au symétriseur. Si un symétriseur séparé est utilisé, ses effets doivent être pris en compte. L'expérience a montré que les variations des facteurs d'antenne en fonction de la géométrie et de la polarisation sont en général négligeables pour les types d'antenne à large bande couramment utilisées pour les mesures de CEM en dessous de 1 GHz (par exemple antennes biconiques, doublets épais et log-périodiques) à condition que l'antenne d'émission soit à au moins 1 m au-dessus du plan de sol. Si l'on croit être en présence de variations de facteur d'antenne, du fait de l'utilisation d'antennes ou de géométries de mesure inhabituelles, ou en raison d'effets tels que couplage mutuel ou dispersion par les lignes de transmission dans le cas des antennes à polarisation verticale, en particulier à la distance de mesure de 3 m, il convient de mesurer d'abord les facteurs d'antenne en utilisant ces géométries.

Normalement, l'affaiblissement de l'emplacement est mesuré dans un système à 50 Ω , c'est-à-dire que le générateur de signaux et le récepteur de mesure ont une impédance de 50 Ω et les impédances de rayonnement des antennes d'émission et de réception sont symétrisées et adaptées au moyen d'un symétriseur.

Les facteurs d'antenne communiqués par le fabricant sont normalement également spécifiés pour une impédance de 50 Ω , c'est-à-dire que le facteur de conversion est défini pour une adaptation sans perte de l'impédance de 50 Ω à l'impédance de rayonnement de l'antenne et, le cas échéant, les pertes du symétriseur utilisé sont également comprises dans le facteur d'antenne communiqué.

Si l'on utilise des doublets demi-onde accordés, leurs facteurs d'antenne en espace libre peuvent être calculés à l'aide de l'équation suivante:

$$F_a = 20\log(2\pi/\lambda) + 10\log(73/50) = 20\log(f) - 31,9 \text{ (dB)} \quad (\text{E.1})$$

où f est en MHz.

NOTE 2 En pratique, le facteur d'antenne est modifié en fonction de la hauteur de l'antenne doublet par rapport au sol à cause de l'impédance mutuelle du doublet et de son image dans le sol.

La perte moyenne du symétriseur pour un doublet demi-onde accordé bien conçu est d'environ 0,5 dB. L'Équation (E.1) devient donc

$$F_a = 20\log(f) - 31,4 \text{ (dB)} \quad (\text{E.2})$$

Il convient de mesurer cette perte du symétriseur en raccordant dos à dos le doublet d'émission et de réception avant qu'ils soient installés dans leurs logements. La perte de chaque symétriseur est la moitié de la perte totale mesurée, en supposant que les deux symétriseurs soient identiques.

Il est important de vérifier que ces valeurs calculées sont représentatives des valeurs des doublets accordés effectivement utilisés pour les mesures de NSA. La vérification la plus simple consiste à assembler les antennes de telle manière que leurs éléments soient en résonance, et à en mesurer le VSWR. L'antenne doit être placée à 4 m au moins au-dessus du sol, plus haut si possible, de façon à minimiser les couplages de l'antenne avec le sol. Ses éléments doivent être accordés à la résonance en utilisant les mesures figurant dans le Tableau E.3. Il suffit de mesurer le VSWR des antennes en bas, au milieu et en haut de leurs gammes de fréquences.

En dessous de 100 MHz, on peut aussi vérifier le fonctionnement des symétriseurs en retirant les éléments, en branchant une résistance de 70 Ω aux bornes du bloc de montage de l'élément, et en mesurant le VSWR du symétriseur chargé. Il convient que la valeur du VSWR soit inférieure à 1,5 sur 1.

Tableau E.1 – Affaiblissement normalisé d'emplacement ^a – Géométries recommandées pour les antennes à large bande

Polarisation	Horizontale	Horizontale	Horizontale	Horizontale	Verticale	Verticale	Verticale	Verticale
d h_1 h_2	3 m 1 m 1 m à 4 m	10 m 1 m 1 m à 4 m	30 m 1 m 2 m à 6 m	30 m 1 m 1 m à 4 m	3 m 1 m 1 m à 4 m	10 m 1 m 1 m à 4 m	30 m 1 m 2 m à 6 m	30 m 1 m 1 m à 4 m
f_M (MHz)	A_N (dB)							
30	15,8	29,8	44,4	47,8	8,2	16,7	26,1	26,0
35	13,4	27,1	41,7	45,1	6,9	15,4	24,7	24,7
40	11,3	24,9	39,4	42,8	5,8	14,2	23,6	23,5
45	9,4	22,9	37,3	40,8	4,9	13,2	22,5	22,5
50	7,8	21,1	35,5	38,9	4,0	12,3	21,6	21,6
60	5,0	18,0	32,4	35,8	2,6	10,7	20,1	20
70	2,8	15,5	29,7	33,1	1,5	9,4	18,7	18,7
80	0,9	13,3	27,5	30,8	0,6	8,3	17,6	17,5
90	-0,7	11,4	25,5	28,8	-0,1	7,3	16,6	16,5
100	-2,0	9,7	23,7	27	-0,7	6,4	15,7	15,6
120	-4,2	7,0	20,6	23,9	-1,5	4,9	14,1	14,0
140	-6,0	4,8	18,1	21,2	-1,8	3,7	12,8	12,7
160	-7,4	3,1	15,9	19	-1,7	2,6	11,7	11,5
180	-8,6	1,7	14,0	17	-1,3	1,8	10,8	10,5
200	-9,6	0,6	12,4	15,3	-3,6	1,0	9,9	9,6
250	-11,9	-1,6	9,1	11,6	-7,7	-0,5	8,2	7,7
300	-12,8	-3,3	6,7	8,8	-10,5	-1,5	6,8	6,2
400	-14,8	-5,9	3,6	4,6	-14,0	-4,1	5,0	3,9
500	-17,3	-7,9	1,7	1,8	-16,4	-6,7	3,9	2,1
600	-19,1	-9,5	0	0	-16,3	-8,7	2,7	0,8
700	-20,6	-10,8	-1,3	-1,3	-18,4	-10,2	-0,5	-0,3
800	-21,3	-12,0	-2,5	-2,5	-20,0	-11,5	-2,1	-1,1
900	-22,5	-12,8	-3,5	-3,5	-21,3	-12,6	-3,2	-1,7
1 000	-23,5	-13,8	-4,5	-4,4	-22,4	-13,6	-4,2	-3,5

Légende

d est la distance horizontale entre la projection des antennes d'émission et de réception sur le plan de sol (m); pour une antenne à large bande, d est la distance entre les projections du point de référence des deux antennes.

h_1 est la hauteur (m) du centre de l'antenne d'émission au-dessus du plan de sol.

h_2 est la plage de hauteurs du centre de l'antenne de réception au-dessus du plan de sol (m); pour les mesures de NSA, on utilise le signal maximal reçu dans cette gamme de balayages en hauteur.

f_M est la fréquence en MHz.

A_N est le NSA.

^a Ces données s'appliquent aux antennes qui sont dégagées d'au moins 25 cm du plan de sol lorsque les centres de ces antennes sont à 1 m au-dessus du plan de sol en polarisation verticale.

**Tableau E.2 – Affaiblissement normalisé d'emplacement –
Géométries recommandées pour les doublets demi-onde accordés
avec polarisation horizontale**

Polarisation	Horizontale	Horizontale	Horizontale
d h_1 h_2	3 m ^a 2 m 1 m à 4 m	10 m 2 m 1 m à 4 m	30 m 2 m 2 m à 6 m
f_M (MHz)	A_N (dB)		
30	11,0	24,1	38,4
35	8,8	21,6	35,8
40	7,0	19,4	33,5
45	5,5	17,5	31,5
50	4,2	15,9	29,7
60	2,2	13,1	26,7
70	0,6	10,9	24,1
80	-0,7	9,2	21,9
90	-1,8	7,8	20,1
100	-2,8	6,7	18,4
120	-4,4	5,0	15,7
140	-5,8	3,5	13,6
160	-6,7	2,3	11,9
180	-7,2	1,2	10,6
200	-8,4	0,3	9,7
250	-10,6	-1,7	7,7
300	-12,3	-3,3	6,1
400	-14,9	-5,8	3,5
500	-16,7	-7,6	1,6
600	-18,3	-9,3	0
700	-19,7	-10,6	-1,3
800	-20,8	-11,8	-2,4
900	-21,8	-12,9	-3,5
1 000	-22,7	-13,8	-4,4
^a Il convient de soustraire les facteurs de correction d'impédance mutuelle des doublets demi-onde accordés à polarisation horizontale séparés de 3 m (voir Tableau E.4) des données mesurées d'affaiblissement normalisé de l'emplacement, afin de pouvoir les comparer aux valeurs théoriques d'affaiblissement normalisé de l'emplacement pour un emplacement idéal donné dans ce tableau.			

**Tableau E.3 – Affaiblissement normalisé d'emplacement –
Géométries recommandées pour les doublets demi-onde accordés
avec polarisation verticale**

f_M MHz	$d = 3 \text{ m}$ $h_1 = 2,75 \text{ m}$		$d = 10 \text{ m}$ $h_1 = 2,75 \text{ m}$		$d = 30 \text{ m}$ $h_1 = 2,75 \text{ m}$	
	h_2 (m)	A_N (dB)	h_2 (m)	A_N (dB)	h_2 (m)	A_N (dB)
30	2,75 à 4	12,4	2,75 à 4	18,8	2,75 à 6	26,3
35	2,39 à 4	11,3	2,39 à 4	17,4	2,39 à 6	24,9
40	2,13 à 4	10,4	2,13 à 4	16,2	2,13 à 6	23,8
45	1,92 à 4	9,5	1,92 à 4	15,1	2 à 6	22,8
50	1,75 à 4	8,4	1,75 à 4	14,2	2 à 6	21,9
60	1,50 à 4	6,3	1,50 à 4	12,6	2 à 6	20,4
70	1,32 à 4	4,4	1,32 à 4	11,3	2 à 6	19,1
80	1,19 à 4	2,8	1,19 à 4	10,2	2 à 6	18,0
90	1,08 à 4	1,5	1,08 à 4	9,2	2 à 6	17,1
100	1 à 4	0,6	1 à 4	8,4	2 à 6	16,3
120	1 à 4	-0,7	1 à 4	7,5	2 à 6	15,0
140	1 à 4	-1,5	1 à 4	5,5	2 à 6	14,1
160	1 à 4	-3,1	1 à 4	3,9	2 à 6	13,3
180	1 à 4	-4,5	1 à 4	2,7	2 à 6	12,8
200	1 à 4	-5,4	1 à 4	1,6	2 à 6	12,5
250	1 à 4	-7,0	1 à 4	-0,6	2 à 6	8,6
300	1 à 4	-8,9	1 à 4	-2,3	2 à 6	6,5
400	1 à 4	-11,4	1 à 4	-4,9	2 à 6	3,8
500	1 à 4	-13,4	1 à 4	-6,9	2 à 6	1,8
600	1 à 4	-14,9	1 à 4	-8,4	2 à 6	0,2
700	1 à 4	-16,3	1 à 4	-9,7	2 à 6	-1,0
800	1 à 4	-17,4	1 à 4	-10,9	2 à 6	-2,4
900	1 à 4	-18,5	1 à 4	-12,0	2 à 6	-3,3
1 000	1 à 4	-19,4	1 à 4	-13,0	2 à 6	-4,2

Tableau E.4 – Facteurs de correction de couplage mutuel pour la géométrie utilisant des doublets résonnants accordables séparés de 3 m

ΔF_{aTOT} – Facteur total de correction en décibels		
f_M MHz	Polarisation horizontale $d = 3 \text{ m}$ $h_1 = 2 \text{ m}$ $h_2 = 1 \text{ m à } 4 \text{ m}$	Polarisation verticale $d = 3 \text{ m}$ $h_1 = 2,75 \text{ m}$ $h_2 = (\text{voir Tableau E.3})$
30	3,1	2,9
35	4,0	2,6
40	4,1	2,1
45	3,3	1,6
50	2,8	1,5
60	1,0	2,0
70	–0,4	1,5
80	–1,0	0,9
90	–1,0	0,7
100	–1,2	0,1
120	–0,4	–0,2
125	–0,2	–0,2
140	–0,1	0,2
150	–0,9	0,4
160	–1,5	0,5
175	–1,8	–0,2
180	–1,0	–0,4

NOTE 1 Les valeurs pour les doublets résonnants ont été calculées en utilisant la méthode des moments et le code NEC (code numérique électromagnétique) ou le système informatique (MININEC) [3], [4], [9].

NOTE 2 On suppose que les facteurs d'antenne sont les facteurs théoriques en espace libre pour des doublets résonnants idéaux avec une perte de 0,5 dB pour le symétriseur (pour chaque antenne).

NOTE 3 Ces facteurs de correction ne décrivent pas entièrement les facteurs d'antenne mesurés au-dessus d'un plan de sol, par exemple à des hauteurs de 3 m ou de 4 m, dans la mesure où ces facteurs d'antenne sont différents des facteurs d'antenne en espace libre aux fréquences inférieures. Toutefois, les valeurs sont adéquates pour indiquer les anomalies d'un emplacement.

NOTE 4 On attire l'attention de l'utilisateur sur le fait que certains doublets demi-onde ou certaines antennes équipées de symétriseurs inhabituels peuvent présenter des caractéristiques différentes de celles de l'antenne décrite à l'Article E.5.

NOTE 5 Les facteurs de correction de couplage mutuel pour des distances de 10 m et de 30 m sont à l'étude. A titre provisoire, on peut évaluer un emplacement d'essai en considérant que ces facteurs de correction sont égaux à zéro.

Annexe F (informative)

Base du critère de 4 dB d'acceptabilité d'un emplacement (voir Article 5)

F.1 Généralités

La présente annexe fournit la base du critère d'acceptabilité de ± 4 dB pour les mesures d'affaiblissement normalisé de l'emplacement, prescrite en 5.2.6.

F.2 Analyse des erreurs

L'analyse des erreurs dans le Tableau F.1 s'applique aux méthodes de mesure d'affaiblissement normalisé de l'emplacement données en 5.2.6. Les erreurs totales estimées sont la base du critère de ± 4 dB pour l'acceptabilité de l'emplacement, comprenant une incertitude de mesure d'environ 3 dB et 1 dB supplémentaire pour prendre en compte les imperfections de l'emplacement.

Le bilan d'erreur du Tableau F.1 ne comprend pas les incertitudes de stabilité d'amplitude du générateur de signaux, du générateur de poursuite ou de tout amplificateur pouvant être utilisé, et ne comprend pas non plus les erreurs potentielles de la technique de mesure. Le niveau de sortie de la plupart des générateurs de signaux et de poursuite dérive en fonction du temps et de la température, et le gain d'un grand nombre d'amplificateurs dérive lorsque la température varie. Il est impératif que ces sources d'erreurs soient maintenues à un niveau négligeable, ou soient corrigées lors des mesures, faute de quoi l'emplacement ne satisfait pas aux critères d'acceptabilité uniquement pour des raisons liées aux instruments.

Tableau F.1 – Bilan d'erreur

Cause d'erreur	Méthode de mesure	
	Méthode de la fréquence discrète dB	Méthode par balayage de fréquence dB
Facteur d'antenne (Émission) ^a	± 1	± 1
Facteur d'antenne (Réception) ^a	± 1	± 1
Voltmètre	0	$\pm 1,6^b$
Atténuateur	± 1	0
Imperfections de l'emplacement	± 1	± 1
Totaux	± 4	$\pm 4,6$
^a Aux fréquences supérieures à 800 MHz, les erreurs de F_a peuvent approcher $\pm 1,5$ dB.		
^b Extrait du manuel d'utilisation.		

En prenant comme exemple les instructions d'utilisation de certains analyseurs de spectre automatiques, si tout est fait pour éliminer ou compenser autant que possible chacune des erreurs potentielles, les erreurs d'amplitude résiduelles sont:

- 1) $\pm 0,2$ dB d'incertitude de l'étalonnage,
- 2) $\pm 1,0$ dB de platitude de la réponse en fréquence,
- 3) $\pm 1,0$ dB pour la commutation de l'atténuateur d'entrée,
- 4) $\pm 0,4$ dB d'incertitude sur le gain RF et en fréquence intermédiaire.

Cela donne une erreur potentielle totale de $\pm 2,6$ dB. Cela ne comprend pas la dérive en température de $\pm 0,05$ dB/K. Dans la pratique, lorsqu'on effectue des mesures du type par substitution, les erreurs associées à la platitude de la réponse en fréquence et à la commutation de l'atténuateur d'entrée sont en général 1 dB plus faibles, de sorte que la bande d'erreur totale de l'analyseur de spectre, utilisé en voltmètre à deux bornes, est de $\pm 1,6$ dB ou meilleure, valeur utilisée au Tableau F.1.

Un grand nombre d'atténuateurs ont une précision absolue très inférieure, mais certains sont meilleurs. Le bilan d'erreur total peut donc être augmenté ou diminué pour les mesures discrètes. Si on utilise un atténuateur externe avec l'analyseur de spectre automatique dans les mesures par balayage de fréquence, ce bilan d'erreur est également augmenté.

Ces bilans d'erreur ne tiennent pas compte des erreurs de dérive dans le temps et en température du gain, du niveau de sortie, ou de la réponse en amplitude des appareils d'essai. De telles erreurs peuvent exister et des précautions doivent être prises pour les éviter en effectuant les mesures le plus rapidement possible.

Dans la pratique, les erreurs prises en compte ci-dessus sont rarement toutes dans le même sens. Un emplacement bien construit et bien situé peut satisfaire au critère des ± 4 dB, tout en présentant une variation d'anomalie de l'emplacement supérieure à ± 1 dB par rapport à la situation idéale.

Bibliographie

- [1] CEI 61169-8, *Radio-frequency connectors – Part 8: Sectional specification – RF coaxial connectors with inner diameter of outer conductor 6,5 mm (0,256 in) with bayonet lock – Characteristic impedance 50 Ω (type BNC)* (disponible en anglais seulement) (publiée antérieurement sous CEI 60169-8).
- [2] BEECKMAN, P. A. The influence of positioning tables on the results of radiated EMC measurements. *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Montreal, Quebec, Canada, 2001, p. 280-285.
- [3] BERRY, J., PATE, B., KNIGHT, J., “Variations in Mutual Coupling Correction Factors for Resonant Dipoles Used In Site Attenuation Measurements”, *Proceeding of the IEEE Symposium on EMC*, Washington, DC, 1990.
- [4] BURKE, G. J. and POGGIO, A.J., *Numerical Electromagnetic Code – Method of Moments*, Lawrence Livermore Laboratory, California, January, 1981.
- [5] GARBE, H., *New EMC Test Facilities for Radiation Measurements, Review of Radio Science 1999-2002*, John Wiley & Sons, New York, 2002.
- [6] MOSSHAMMER, P. *Untersuchung der Einflüsse des Messzubehörs und der Umgebung auf die Messunsicherheit bei der Messung der Störfeldstärke auf Freifeldmessplätzen (Investigation of the influences of the measuring accessories and the environment on the measurement uncertainty with the measurement of the perturbative field strength on free field measuring positions)*, Diplomarbeit an Fachhochschule für Technik und Wirtschaft Berlin,
http://www.regtp.de/tech_reg_tele/start/fs_06.html),
http://www.regtp.de/imperia/md/content/tech_reg_t/emv/studien/diplomarbeit.pdf),
http://www.regtp.de/tech_reg_tele/in_06-03-02-03-00_m/01/index.html).
- [7] ETR 273-1-1:1998 *Electromagnetic compatibility and radio spectrum matters (ERM); Improvement of radiated methods of measurement (using test sites) and evaluation of the corresponding measurement uncertainties – Part 1: Uncertainties in the measurement of mobile radio equipment characteristics – Section 1: Introduction; Subclause 8.3.4.3: Antenna mast, turntable and mounting fixture*, ETSI Technical Report, European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, France.
- [8] MIL-STD-461A, *Electromagnetic Interference (EMI) Characteristics Requirements for Equipment*.
- [9] ROCKWAY, J. W., LOGAN, J. C., TAM, D. W. S., LI, S. T., *The MININEC System: Microcomputer Analysis of Wire Antennas*, Artech House, Boston, 1988.
- [10] ZOMBOLAS, C., The effects of table material on radiated field strength measurement reproducibility at open area test sites. *IEEE International Symposium on Electromagnetic Compatibility*, Montreal, Quebec, Canada, 2001, p. 260-264.
- [11] BERGERVOET J.R. and VAN VEEN, H. A Large-Loop Antenna for Magnetic Field Measurements, *Proceedings of the 8th International Zürich Symposium on Electromagnetic Compatibility*, March 1989, ETH Zentrum - IKT, 8092 Zürich, Switzerland, p. 29-34.
- [12] IEEE 291-1991, *IEEE Standard Methods for Measuring Electromagnetic Field Strength of Sinusoidal Continuous Waves, 30 Hz to 30 GHz*. IEEE, Inc., 445 Hoes Lane, PO Box 1331, Piscataway, NJ 08855-1331 USA, p. 28-29.
- [13] GREENE, FM., *NBS Field-Strength Standards and Measurements (30 Hz to 1000 MHz). Proceedings of the IEEE*, June 1967, No. 6, vol. 55, p. 974-981.
- [14] SCHELKUNOFF, SA. and FRIIS, HT., *Antennas: Theory and Practice*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1952, p. 302-331.

- [15] SCHELKUNOFF, SA. Theory of Antennas of Arbitrary Size and Shape. *Proceedings of the IRE*, September 1941, vol. 29, p. 493-592.
 - [16] WOLFF, EA. *Antenna Analysis*. New York: John Wiley and Sons, Inc. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1966, p. 61.
 - [17] HALLÉN, E. Theoretical Investigation into the Transmitting and Receiving Qualities of Antennas. HALLÉN, E. Theoretical Investigation into the Transmitting and Receiving Qualities of Antennas. *Nova Acta Soc. Sci. Upsaliensis*, Ser. IV, 11, No. 4, 1938, p. 1-44.
 - [18] KING, R.W.P., *Theory of Linear Antennas*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1956, p.16-17, 71, 184 and 487.
 - [19] *The Radio Frequency Interference Meter* NAVSHIPS 94810, by The Staff of the Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, 1962, p. 36-38.
 - [20] CLC/TR 50481, *Recommendations on filters for shielded enclosures*, CENELEC, April 2009.
 - [21] CLC/TR 50484, *Recommendations for shielded enclosures*, CENELEC, April 2009.
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

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

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