

# INTERNATIONAL STANDARD

## NORME INTERNATIONALE

INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

**Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods –**

**Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Ancillary equipment – Radiated disturbances**

**Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques –**

**Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Matériels auxiliaires – Perturbations rayonnées**



## THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2008 IEC, Geneva, Switzerland

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

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

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

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

IEC Central Office  
3, rue de Varembe  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland  
Email: [inmail@iec.ch](mailto:inmail@iec.ch)  
Web: [www.iec.ch](http://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](http://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](http://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](http://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](http://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](mailto: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](http://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](http://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](http://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](http://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](mailto: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

**Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods –**

**Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Ancillary equipment – Radiated disturbances**

**Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques –**

**Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Matériels auxiliaires – Perturbations rayonnées**

INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

COMMISSION  
ELECTROTECHNIQUE  
INTERNATIONALE

PRICE CODE  
CODE PRIX

**CN**

## CONTENTS

|                                                                                                                                            |    |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| FOREWORD.....                                                                                                                              | 5  |
| INTRODUCTION (to amendment 1).....                                                                                                         | 7  |
| 1 Scope.....                                                                                                                               | 8  |
| 2 Normative references.....                                                                                                                | 8  |
| 3 Terms and definitions .....                                                                                                              | 9  |
| 4 Antennas for measurement of radiated radio disturbance .....                                                                             | 12 |
| 4.1 Physical parameter for radiated emissions measurements .....                                                                           | 12 |
| 4.2 Frequency range 9 kHz to 150 kHz .....                                                                                                 | 12 |
| 4.3 Frequency range 150 kHz to 30 MHz.....                                                                                                 | 13 |
| 4.4 Frequency range 30 MHz to 1 000 MHz.....                                                                                               | 13 |
| 4.5 Frequency range 1 GHz to 18 GHz.....                                                                                                   | 18 |
| 4.6 Special antenna arrangements.....                                                                                                      | 18 |
| 5 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz .....                      | 19 |
| 5.1 Open area test site .....                                                                                                              | 19 |
| 5.2 Weather protection enclosure .....                                                                                                     | 19 |
| 5.3 Obstruction-free area.....                                                                                                             | 19 |
| 5.4 Ambient radio frequency environment of a test site .....                                                                               | 20 |
| 5.5 Ground plane.....                                                                                                                      | 22 |
| 5.6 Open area site validation procedure.....                                                                                               | 22 |
| 5.7 Test site suitability with ground-plane.....                                                                                           | 26 |
| 5.8 Test site suitability without ground-plane .....                                                                                       | 31 |
| 5.9 Evaluation of set-up table and antenna tower .....                                                                                     | 40 |
| 6 Reverberating chamber for total radiated power measurement .....                                                                         | 42 |
| 6.1 Chamber .....                                                                                                                          | 42 |
| 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 Reference test site .....                                                                                                              | 45 |
| 8.2 Validation of the test site.....                                                                                                       | 45 |
| 8.3 Alternative test site .....                                                                                                            | 59 |
| 9 Common mode absorption devices.....                                                                                                      | 59 |
| 9.1 General .....                                                                                                                          | 59 |
| 9.2 CMAD S-parameter measurements.....                                                                                                     | 60 |
| 9.3 CMAD test jig .....                                                                                                                    | 60 |
| 9.4 Measurement method using the TRL calibration .....                                                                                     | 60 |
| 9.5 CMAD performance (degradation) check using spectrum analyser (SA) and tracking generator (TG).....                                     | 62 |
| 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 (informative) Construction details for open area test sites in the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz (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 (Clause 5) .....                                                                                                                                                                        | 91  |
| Annex F (informative) Basis for 4 dB site acceptability criterion (Clause 5) .....                                                                                                                                                                                                                         | 99  |
| Bibliography .....                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 101 |
| Figure 20 – Schematic of radiation from EUT reaching an LPDA antenna directly and via ground reflections on a 3 m site, showing the half beamwidth, $\phi$ , at the reflected ray.....                                                                                                                     | 14  |
| Figure 2 – Obstruction-free area of a test site with a turntable (see 5.3).....                                                                                                                                                                                                                            | 21  |
| Figure 3 – Obstruction-free area with stationary EUT (see 5.3) .....                                                                                                                                                                                                                                       | 21  |
| Figure 4 – Configuration of equipment for measuring site attenuation in horizontal polarization (see 5.6 and Annex E) .....                                                                                                                                                                                | 23  |
| Figure 5 – Configuration of equipment for measuring site attenuation in vertical polarization using tuned dipoles (see 5.6 and Annex E) .....                                                                                                                                                              | 23  |
| Figure 6a – Typical antenna positions for alternative test site – Vertical polarization NSA measurements .....                                                                                                                                                                                             | 28  |
| Figure 6b – Typical antenna positions for alternative test site – Horizontal polarization NSA measurements .....                                                                                                                                                                                           | 28  |
| Figure 6c – Typical antenna positions for alternative test site – Vertical polarization NSA measurements for an EUT that 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 .....      | 29  |
| Figure 6d – Typical antenna positions for alternative test site – Horizontal polarization NSA measurements for an EUT that 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 ..... | 29  |
| Figure 6 – Typical antenna positions for alternative test sites .....                                                                                                                                                                                                                                      | 29  |
| Figure 7 – Graph of theoretical free-space NSA as a function of the frequency for different measurement distances (see Equation 4) .....                                                                                                                                                                   | 32  |
| Figure 8 – Measurement positions for the site validation procedure.....                                                                                                                                                                                                                                    | 35  |
| Figure 9 – Example of one measurement position and antenna tilt for the site validation procedure .....                                                                                                                                                                                                    | 36  |
| Figure 10 – Typical free-space site reference measurement set-up.....                                                                                                                                                                                                                                      | 39  |
| Figure 11 – Position of the antenna relative to the edge above a rectangle set-up table (top view) .....                                                                                                                                                                                                   | 42  |
| Figure 12 – Antenna position above the set-up table (side view) .....                                                                                                                                                                                                                                      | 42  |
| Figure 13 – Example of a typical paddle stirrer .....                                                                                                                                                                                                                                                      | 43  |
| Figure 14 – Range of coupling attenuation as a function of frequency for a chamber using the stirrer in Figure 13.....                                                                                                                                                                                     | 44  |
| Figure 15 – Transmit antenna E-Plane radiation pattern example (for informative purposes only) .....                                                                                                                                                                                                       | 48  |
| Figure 16 – Transmit antenna H-plane radiation pattern (for informative purposes only) .....                                                                                                                                                                                                               | 49  |
| Figure 17 – $S_{VSWR}$ measurement positions in a horizontal plane – see 8.2.2.2.1 for description .....                                                                                                                                                                                                   | 50  |
| Figure 18 – $S_{VSWR}$ positions (height requirements) .....                                                                                                                                                                                                                                               | 52  |
| Figure 19 – Conditional test position requirements .....                                                                                                                                                                                                                                                   | 58  |

|                                                                                                                                                                                         |    |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figure 21 – Definition of the reference planes inside the test jig.....                                                                                                                 | 63 |
| Figure 22 – Example of a 50 $\Omega$ adaptor construction in the vertical flange of the jig.....                                                                                        | 63 |
| Figure 23 – Example of a matching adaptor with balun or transformer.....                                                                                                                | 64 |
| Figure 24 – Example of a matching adaptor with resistive matching network .....                                                                                                         | 64 |
| Figure 25 – The four configurations for the TRL calibration .....                                                                                                                       | 65 |
| Figure A.1 – Short dipole antenna factors for $R_L = 50 \Omega$ (refer to A.3.2.d), Note) .....                                                                                         | 69 |
| Figure B.1 – Method using network analyser.....                                                                                                                                         | 75 |
| Figure B.2 – Method using radio-noise meter and signal generator .....                                                                                                                  | 75 |
| Figure B.3 – Example of mounting capacitor 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 ( $\mu A/m$ )) and $C_{dV}$ (for conversion into dB ( $\mu V/m$ )) 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 .....                                                                                                                                         | 37 |
| Table 5 – $S_{VSWR}$ test positions .....                                                                                                                                               | 53 |
| Table 6 – $S_{VSWR}$ reporting requirements.....                                                                                                                                        | 59 |
| Table E.1 – Normalized site attenuation* (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 –  
Ancillary equipment – Radiated disturbances**

**FOREWORD**

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

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

The document CISPR/A/710/FDIS, circulated to the National Committees as amendment 3, led to the publication of the new edition.

This consolidated version of CISPR 16-1-4 consists of the second edition (2007) [documents CISPR/A/710/FDIS and CISPR/A/722/RVD] and its amendment 1 (2007) [documents CISPR/A/750/FDIS and CISPR/A/760/RVD].

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

It bears the edition number 2.1.

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

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

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.

CISPR 16-1 consists of the following parts, under the general title *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Radio disturbance and immunity measuring apparatus*:

Part 1-1: Measuring apparatus

Part 1-2: Ancillary equipment – Conducted disturbances

Part 1-3: Ancillary equipment – Disturbance power

Part 1-4: Ancillary equipment – Radiated disturbances

Part 1-5: Antenna calibration test sites for 30 MHz to 1 000 MHz

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

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

## INTRODUCTION

(to amendment 1)

In this amendment, the use of a balanced dipole antenna (the CISPR tuned dipole) as a physical reference for radiated emission measurements in the frequency range between 30 MHz and 300 MHz is deleted. It is replaced by the requirement that in this frequency range the quantity to be measured is the electric field strength that can be determined using different types of antennas, provided that the antenna factor and the associated uncertainty are known.

This fundamental change of measurand in the frequency range between 30 MHz and 300 MHz was subject to thorough investigations and discussion within CISPR A, and brings it into line with the measurand that already applies in the rest of the frequency range 9 kHz to 1 GHz, and indeed above 1 GHz. The decision for this change has been supported by the results of a questionnaire. More details on the rationale for the decision to introduce the 'electric field' measurand instead of the CISPR reference dipoles can be found in the CISPR Maintenance Cycle Report CISPR/A/541/MCR.

CISPR/A/541/MCR explains that the need for a CISPR reference dipole no longer exists, due to improvements in the calibration of antennas used for EMC compliance testing and the increased implementation of quality systems in test and calibration laboratories in accordance with ISO 17025. Moreover, Clause 4 of CISPR 16-1-4 covers the frequency range 9 kHz to 1 GHz, yet a reference antenna is only specified in the range 30 MHz to 300 MHz, which seems to make this frequency range an exception to the general rule.

In other words, most measurements of physical quantities are made with an instrument that is traceable to national standards. There is no need for measurement of electric field strength in the frequency range 30 MHz to 300 MHz to deviate from this, especially when application of such a physical reference antenna may give a greater uncertainty to the intended measurand than a regular calibrated broadband antenna. Moreover, these days, the CISPR reference dipole is rarely used in practice because it is impractical from a operational point of view (time consuming). The new measurand is the field strength as defined by the limit level in dB $\mu$ V/m and as required by the method of measurement. If various operators follow the same measurement method, involving calibrated antennas, a high degree of reproducibility is ensured.

A consequence of using the tuned dipole antenna as a reference is that the antenna uncertainties in CISPR 16-4-2 require the field strength measured by a broadband antenna to be referred to the field strength that would have been measured had a tuned dipole been used. The ramifications would be dependent on the difference in radiation patterns and mutual coupling of a dipole compared to a broadband antenna (including height dependence of antenna factor). This practice can actually result in larger EMC measurement uncertainties than if the field strength were derived from the traceably calibrated broadband antenna. The relating of the behaviour of the commonly used broadband antenna to the extremely rarely used tuned dipole in the notes to the uncertainty budget in CISPR 16-4-2, requires specialist knowledge to understand.

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

### Part 1-4: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Ancillary equipment – Radiated disturbances

#### 1 Scope

This part of CISPR 16 is designated a basic standard, which specifies the characteristics and performance of equipment for the measurement of radiated disturbances in the frequency range 9 kHz to 18 GHz.

Specifications for ancillary apparatus are included for: antennas and test sites, TEM cells, and reverberating chambers.

The requirements of this publication must be complied with 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 16-2-3, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity – Radiated disturbance measurements*

CISPR 16-3, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 3: CISPR technical reports*

CISPR 16-4 (all parts), *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Uncertainties, statistics and limit modelling*

CISPR 16-4-2:2003, *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*

### 3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the following terms and definitions apply. Also see IEC 60050(161).

#### 3.1

##### **bandwidth**

##### **$B_n$**

width of the overall selectivity curve of the receiver between two points at a stated attenuation, below the midband response

NOTE The bandwidth is represented by the symbol  $B_n$ , where  $n$  is the stated attenuation in decibels.

#### 3.2

##### **CISPR indicating range**

range specified by the manufacturer which gives the maximum and the minimum meter indications within which the receiver meets the requirements of this part of CISPR 16

#### 3.3

##### **calibration test site**

##### **CALTS**

open area test site with metallic ground plane and tightly specified site attenuation performance in horizontal and vertical 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.

#### 3.4

##### **compliance test site**

##### **COMTS**

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

#### 3.5

##### **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 and hybrid antenna.

#### 3.6

##### **balun**

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

#### 3.7

##### **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".

### 3.8

#### **site attenuation**

site attenuation is defined as the 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

### 3.9

#### **site insertion loss**

the 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

### 3.10

#### **wire antenna**

a specified structure consisting of one or more metallic wires or rods for radiating or receiving electromagnetic waves

NOTE A wire antenna does not contain a balun.

### 3.11

#### **fully anechoic room**

##### **FAR**

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

### 3.12

#### **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

### 3.13

#### **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.

### 3.14

#### **cross-polar response**

measure of the rejection by the antenna of the cross-polarised field, when the antenna is rotated in a uniform electromagnetic field

### 3.15

#### **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

### 3.16

#### **low uncertainty antenna**

good quality robust biconical or LPDA antenna, whose antenna factor is reproducible to better 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.2.2.

**3.17****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), which 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

**3.18****common mode absorption device****CMAD**

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

**3.19****insertion loss**

the 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,  $|1/S_{21}|$

**3.20****reflection coefficient**

the 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  $S_{11}$

**3.21****short-open-load-through (SOLT) or through-open-short-match (TOSM)****calibration method**

calibration method for a vector network analyser 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  $\Omega$  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, which requires twelve reference measurements to perform the calibration

**3.22****scattering parameters (S-parameters)**

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

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

calibration method for a vector network analyser 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

**3.24****vector network analyser****VNA**

a network analyser capable of measuring complex values of the four S-parameters  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$

## 4 Antennas for measurement of radiated radio disturbance

Antennas of the type that are used for radiated emissions 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 polarised. 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.

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

### 4.1 Physical parameter for radiated emissions measurements

The physical parameter for radiated emission measurements made against an emission limit expressed in volts per metre is E-field strength 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.

The accuracy of field-strength measurement of a uniform field of a sine-wave shall be better than  $\pm 3$  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.

### 4.2 Frequency range 9 kHz to 150 kHz

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

#### 4.2.1 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 the magnetic field strength is  $\mu\text{A/m}$  or, in logarithmic units,  $20 \log(\mu\text{A/m}) = \text{dB}(\mu\text{A/m})$ . 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 electric field strength in  $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ , i.e. assuming that the ratio of the  $E$  and  $H$  components is  $120 \pi$  or  $377 \Omega$ .

To obtain the reading of  $H$  ( $\mu\text{A/m}$ ), the reading  $E$  ( $\mu\text{V/m}$ ) is divided by  $377 \Omega$ :

$$H (\mu\text{A/m}) = E (\mu\text{V/m}) / 377 \Omega \quad (1)$$

To obtain the reading of  $H$   $\text{dB}(\mu\text{A/m})$ , 51,5  $\text{dB}(\Omega)$  is subtracted from the reading  $E$   $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ :

$$H \text{ dB}(\mu\text{A/m}) = E \text{ dB}(\mu\text{V/m}) - 51,5 \text{ dB}(\Omega) \quad (2)$$

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

#### 4.2.2 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.

### 4.3 Frequency range 150 kHz to 30 MHz

#### 4.3.1 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 electric field on a vertical 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 Capacitor Substitution Method (ECSM) has greater uncertainties for monopole lengths greater than one-eighth of a wavelength.

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

#### 4.3.2 Magnetic antenna

For the measurement of the magnetic component of the radiation, an electrically-screened loop antenna, as described in 4.2.1 shall be used.

Tuned electrically balanced loop antennas may be used to make measurements at lower field strengths than untuned electrically-screened loop antennas.

#### 4.3.3 Cross-polar response of antenna

If a balanced electric field antenna is used, it shall comply with the requirement of 4.4.3. If a balanced magnetic field antenna is used, it shall comply with the requirement of 4.2.2."

### 4.4 Frequency range 30 MHz to 1 000 MHz

In this frequency range the measurements are of the electric field, so magnetic field antennas are not included. The antenna shall be a dipole-like antenna designed to measure the electric field. This includes tuned dipole antennas, whose element pairs are either straight rods or conical in shape, and dipole arrays such as the log-periodic dipole array (LPDA) antenna, comprising a series of staggered sets of straight rod elements, and hybrid antennas.

#### 4.4.1 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 strength 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.

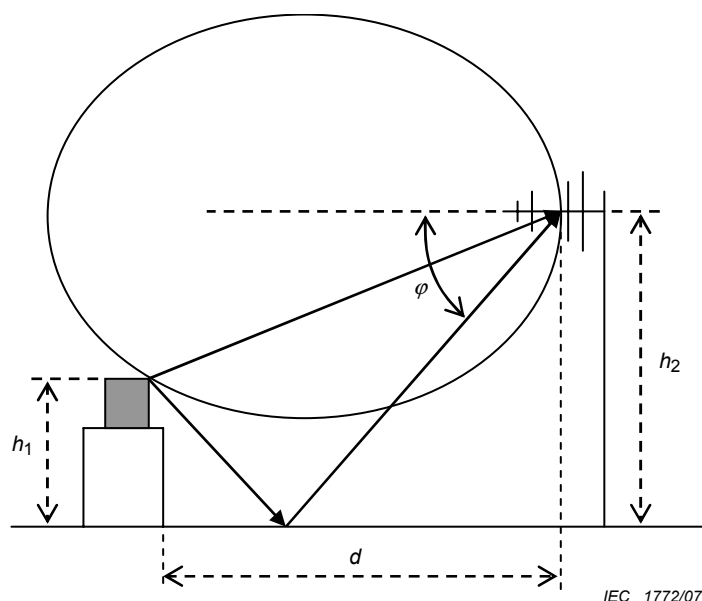
NOTE 1 Improved uncertainties are achieved by using the biconical antenna over the frequency range 30 MHz to 250 MHz and the LPDA antenna over the range 250 MHz to 1 GHz. Alternatively, a change-over frequency of 200 MHz can be used, but uncertainties due to phase centre variations of the LPDA will be higher and must 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 strength within a margin of  $\pm 1$  dB.

#### 4.4.2 Antenna characteristics

Since, 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 antenna shall be as follows.

- The antenna shall be linearly polarized, which shall be evaluated by applying the cross-polarization test procedure of 4.4.4.
- 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 4.4.3. This also applies to hybrid antennas below 200 MHz.
- 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 mainlobe 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,  $2\varphi$ , see Figure 20.



**Figure 20 – Schematic of radiation from EUT reaching an LPDA antenna directly and via ground reflections on a 3 m site, showing the half beamwidth,  $\varphi$ , at the reflected ray**

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

Emission measurements are performed with the antenna horizontally and vertically polarised. 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 polarisation.

- 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  $2\varphi$  of the measurement antenna, within which the antenna gain is within 2 dB of its maximum, shall be such that:

$$\varphi > \tan^{-1} [(h_1 + h_2)/d]$$

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

$$2\varphi > \tan^{-1} [(h_1 + h_2)/d] - \tan^{-1} [(h_1 - h_2)/d]$$

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, see Note, from the radiation patterns and applied as corrections or as directivity uncertainties. Example uncertainties 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 polarisation, 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 1) and 2) above, 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 (2004) 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.

### 4.4.3 Balance of antenna

#### 4.4.3.1 Introduction

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 EM fields which 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 electric 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 bicone/log hybrid antennas.

#### 4.4.3.2 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 $\mu$ V), is a measure for the DM/CM conversion.

- 1) Set the receiving antenna under test vertically polarized with its centre at a height of 1,5 m above the ground plane. Lay the cable horizontally for  $1,5 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$  behind the rear active element of the antenna and then drop it vertically by a height of at least 1,5 m to the ground plane.
- 2) Place a second (transmitting) antenna vertically polarized at a horizontal distance of 10 m from the centre of the antenna under test with its tip 0,10 m from 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 change of less than  $\pm 0,5 \text{ dB}$ , 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.
- 3) 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.
- 4) Record the voltage  $U_1$  at the receiver over the frequency range of interest.
- 5) Invert the receiving antenna (rotate that antenna through  $180^\circ$ ) without changing anything else in the set-up, in particular the receiving antenna cable, and without changing the setting of the signal source.
- 6) Record the voltage  $U_2$  at the receiver over the frequency range.

7) 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 contribution a) 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 to be used in a fully anechoic chamber, 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 must comply with the  $\pm 4$  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 define a test set-up strictly because this effect is in large part due to the interaction of the antenna and the part of input cable that lies parallel to the antenna elements. There is a much smaller effect which is dependent on the uniformity of the field incident on the antenna in normal EMC set-ups on an OATS or in a fully anechoic room.

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

#### 4.4.4 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 apply to log-periodic dipole array (LPDA) antennas for which the two halves of each dipole are in echelon. The majority of testing with such antennas is above 200 MHz, but the requirement applies below 200 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 must 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 must 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 subtracting the smaller signal from the unity signal to give the negative decibel error.

For the purpose of calculating the uncertainty of the result of a radiated emission, 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 VP and HP signal levels is less than 6 dB, additional uncertainty must be calculated if the sum of this difference and the cross-polarization is less than 20 dB.

#### 4.5 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. The aperture dimensions of these horn antennas shall be small enough so that the measurement distance  $R_m$  in metres is equal to or greater than the following minimum distance:

$$R_m \geq D^2/2\lambda$$

where

$D$  is the largest dimension of the aperture in metres of the antenna;

$\lambda$  is the free space wavelength in metres at the frequency of measurement.

In case of dispute, measurements made with a standard gain horn antenna or a similar precisely calibrated horn antenna shall take precedence.

#### 4.6 Special antenna arrangements

##### 4.6.1 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 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 Clause C.3, Note 2, 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.5.

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 between the EUT and a LA is at least  $0,10(D)$  m. 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**

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

### **5.1 Open area test site**

Disturbance field-strength measurements are normally performed at an open area test site. Open area test sites 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 equipment under test (EUT). Refer to Annex D for specific construction recommendations for open area test sites for electromagnetic field tests in the range of 30 MHz to 1 GHz. The site validation procedure for open area test sites is given in 5.6 with further details in Annex E. Annex F contains the acceptability criterion.

### **5.2 Weather protection enclosure**

Weather protection is desirable if the test site is used throughout the year. A weather protection structure could either protect 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.

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

### **5.3 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 should be free from significant scatterers of electromagnetic fields, and should 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 should 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 must 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 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 should 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 should be situated outside the obstruction free area.

#### **5.4 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:

- a) the ambient emissions are 6 dB or more below the measurement levels;
- b) 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 For perfect results, an ambient level 20 dB below the emission level measured is recommended.

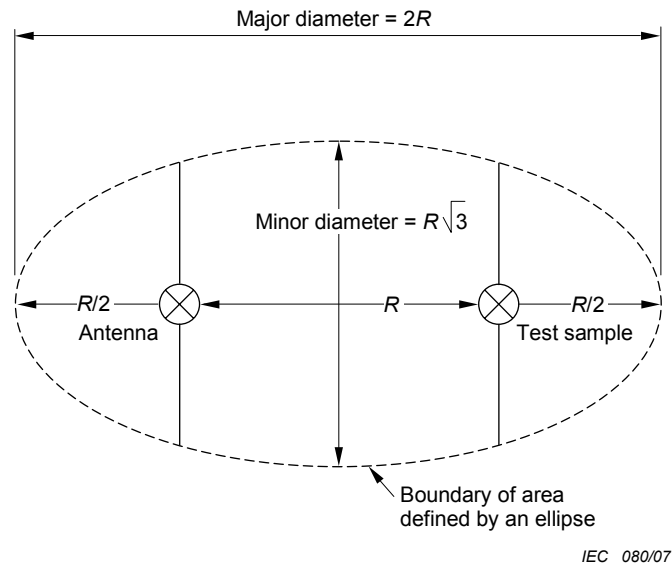


Figure 2 – Obstruction-free area of a test site with a turntable (see 5.3)

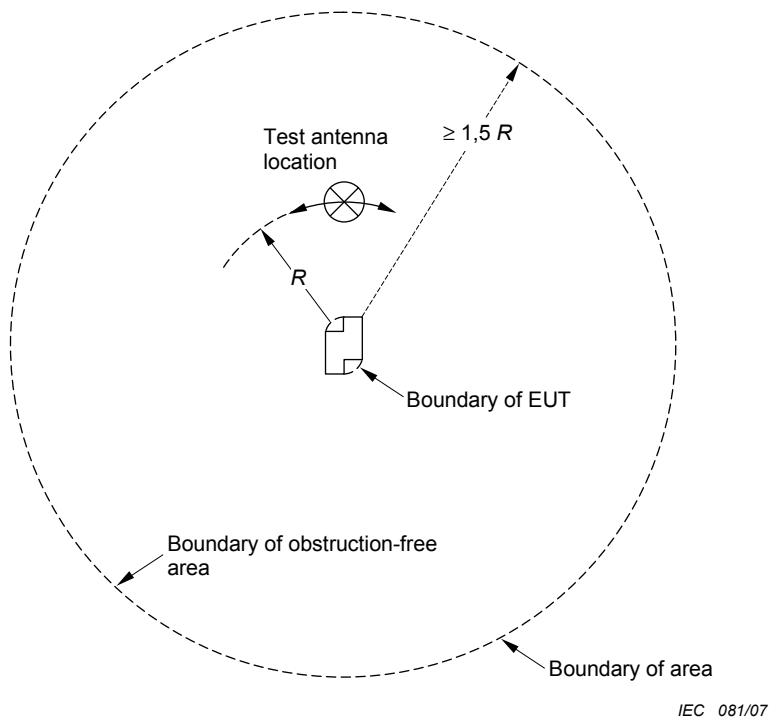


Figure 3 – Obstruction-free area with stationary EUT (see 5.3)

## 5.5 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 5.6. 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.

## 5.6 Open area site validation procedure

The validation procedure and the requirements for the normalized site attenuation given here are used to qualify a test site when a metallic ground plane is specified. 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 subclause 5.8.

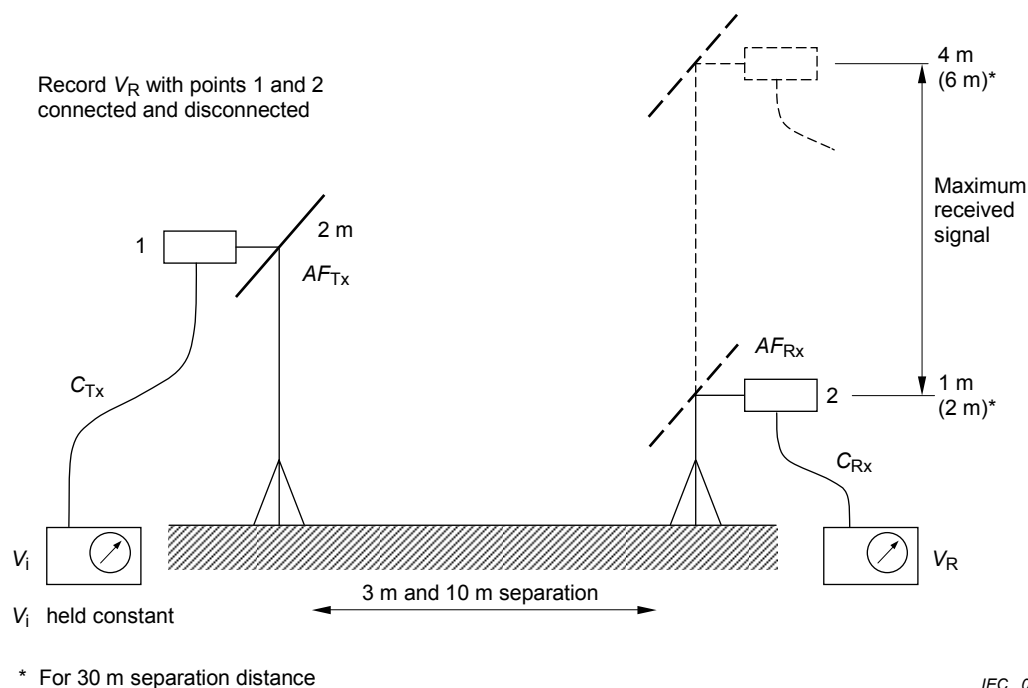
The validation of an open area test site is performed with two antennas oriented horizontally and vertically with respect to the ground, as shown in Figures 4 and 5, respectively. The open area site attenuation is obtained from the ratio of the source voltage ( $V_i$ ) connected to a transmitting antenna and the received voltage ( $V_r$ ) as measured on the receiving antenna terminals. The voltage measurements are performed in a  $50\ \Omega$  system. Suitable corrections for cable losses is 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 normalized site attenuation ( $NSA$ ) and is expressed in dB. The site is considered suitable when the measured vertical and horizontal  $NSA$ 's are within  $\pm 4$  dB of the values given in Tables E.1, E.2, and E.3, as appropriate. If the  $\pm 4$  dB criterion is exceeded, the test site must be investigated per Clause E.4.

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

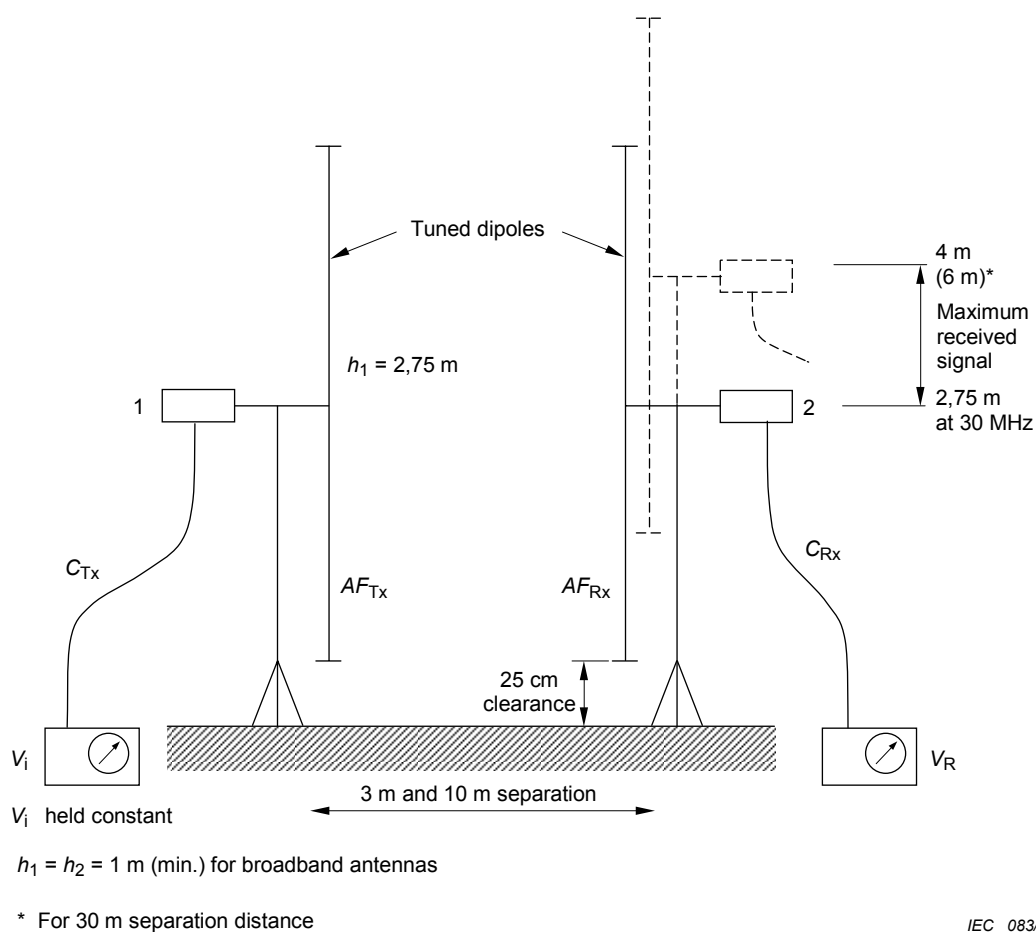
The deviation between a measured  $NSA$  value and the theoretical value shall not be used as a correction for a measured EUT field strength. This procedure shall be used only for validating a test site.

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 The reason for the different Tables E.1 and E.2/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.



**Figure 4 – Configuration of equipment for measuring site attenuation in horizontal polarization (see 5.6 and Annex E)**



**Figure 5 – Configuration of equipment for measuring site attenuation in vertical polarization using tuned dipoles (see 5.6 and Annex E)**

*NSA* for frequencies other than those shown in the tables may be found using straight-line interpolation between the tabulated values.

The legend for each table is as follows:

- $R$  Horizontal separation distance between the projection of the transmit and receive antennas on the ground plane (metres).
- $h_1$  Height of the centre of the transmit antenna above the ground plane (metres).
- $h_2$  Range of heights of the centre of the receive antenna above the ground plane (metres). The maximum received signal in this height scan range is used for *NSA* measurements.
- $f_m$  Frequency in MHz.
- $A_N$  *NSA* (see Equation (1), below).

NOTE The spacing  $R$  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.

It is recommended that horizontal *NSA* measurements be performed first. Since such measurements are less sensitive than that for vertical polarization in finding test anomalies, the measured *NSA* should readily be within  $\pm 4$  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  $\pm 4$  dB criterion is still exceeded, a significant site anomaly is present which should be readily apparent and corrective action taken before proceeding to the vertical polarization *NSA* measurement.

### 5.6.1 General *NSA* measurement

For each polarization measurement, the *NSA* procedure requires two different measurements of  $V_R$  which is the voltage received. The first reading of  $V_R$  is with the two coaxial cables disconnected from the two antennas and connected to each other via an adapter. The second reading of  $V_R$  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. The first reading of  $V_R$  is called  $V_{\text{DIRECT}}$  and the second is  $V_{\text{SITE}}$ . These are used in the following Equation (1) for the measured *NSA*,  $A_N$ ; all terms are in dB.

$$A_N = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}} - AF_T - AF_R - \Delta AF_{\text{TOT}} \quad (1)$$

where

- $AF_T$  is the transmit antenna factor;
- $AF_R$  is the receive antenna factor;
- $\Delta AF_{\text{TOT}}$  is the mutual impedance correction factor.

Note that the first two terms represent the actual measurement of site attenuation, i.e.,  $V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{SITE}}$  is equal to the classical view of site attenuation, 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  $\Delta AF_{\text{TOT}}$  are given in Table E.4.  $AF_T$  and  $AF_R$  shall be measured.

Note that:  $V_{\text{DIRECT}} = V_i - C_T - C_R$

where

$C_T$  and  $C_R$  are the cable losses which 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, horizontal polarization and 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 (1) 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 a). A detailed procedure is given in Annex E.

### 5.6.2 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 must be accounted for. The formula to use for tuned half-wave dipoles is also contained in Annex E.

### 5.6.3 Site attenuation deviations

If measurements of *NSA* deviate by more than  $\pm 4$  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 reading.

If no errors are found in a), b) and c), 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:

- a) ground plane size and construction inadequacy;
- b) objects at the perimeter of the site that may be causing undesired scattering;
- c) all-weather cover;

- d) ground plane discontinuity at the turntable circumference when the turntable surface is conductive and at the same elevation as the ground plane;
- e) thick dielectric ground plane covers;
- f) openings in ground plane for stairways.

## 5.7 Test site suitability with ground-plane

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 5.6, 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  $\pm 4$  dB to be judged suitable as an equivalent to an open area test site.

The discussion in this section concerns alternative test sites which have a conducting ground plane.

### 5.7.1 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 Figures 6a and 6b, 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 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 Figures 6c and 6d.

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 must be moved to maintain the appropriate separation along a line towards the turntable centre (see Figures 6a, 6b, 6c and 6d). The alternative test site is considered suitable for performing radiated emission testing if all NSA measurements prescribed above meet the requirements of 5.7.2 and the ground plane requirements of 5.7.3 below.

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

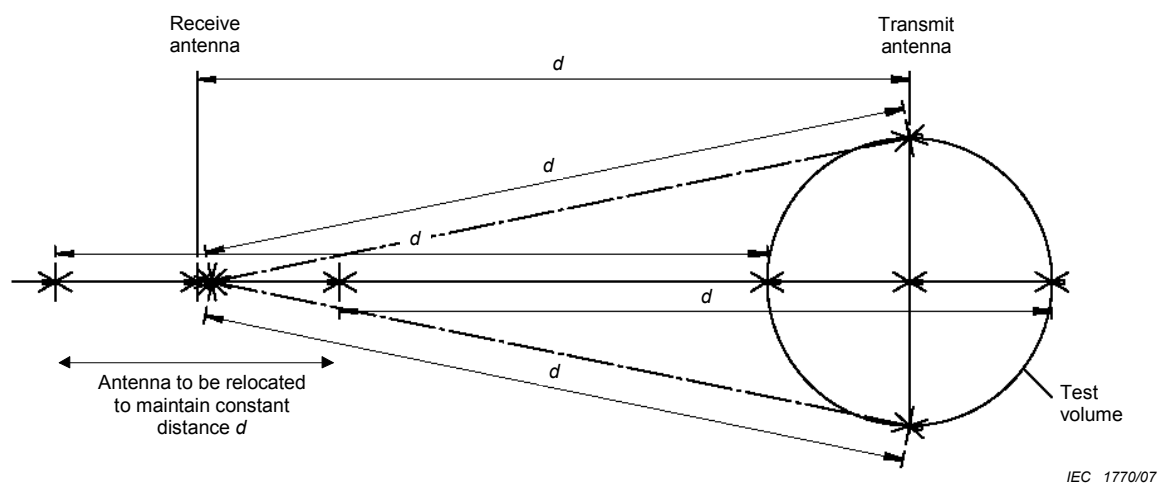
### 5.7.2 Site attenuation

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

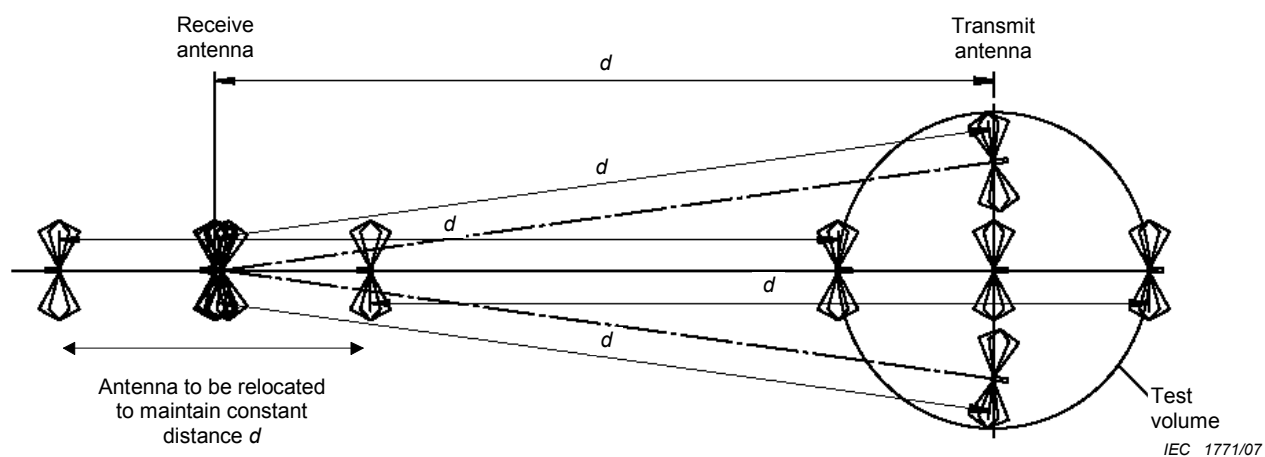
### 5.7.3 Conducting ground plane

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  $\pm 4$  dB criterion.

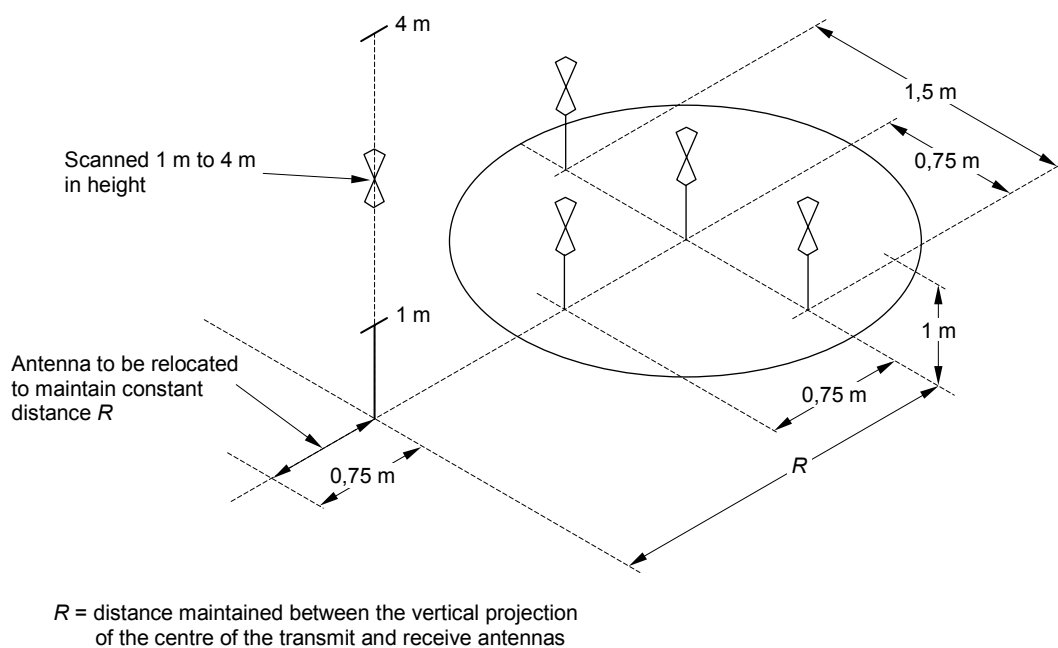
NOTE Ongoing studies may indicate the need for specifying minimum conductive ground plane size.



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

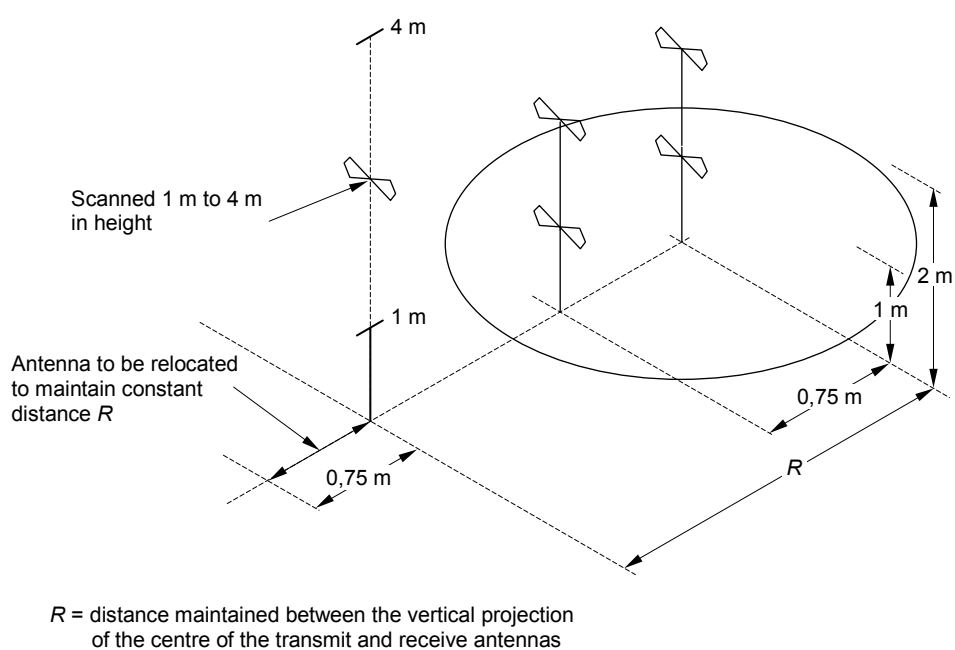


**Figure 6b – Typical antenna positions for alternative test site – Horizontal polarization NSA measurements**



IEC 086/07

**Figure 6c – Typical antenna positions for alternative test site –  
Vertical polarization NSA measurements for an EUT that 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**



IEC 087/07

**Figure 6d – Typical antenna positions for alternative test site – Horizontal polarization NSA measurements for an EUT that 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 6 – Typical antenna positions for alternative test sites**

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

| Polarization | Horizontal  | Horizontal | Horizontal |
|--------------|-------------|------------|------------|
| $R$          | 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 |
| $f_m$<br>MHz | $A_N$<br>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   |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|------------|------------|------------|------------|------------|------------|
| $R$                                                                                                                                                                        | 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 |
| $f_m$<br>MHz                                                                                                                                                               | $A_N$<br>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       |
| * This data applies 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. |             |            |            |            |            |            |            |

## 5.8 Test site suitability without ground-plane

The procedure for test sites without ground-plane in the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz is as follows.

### 5.8.1 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.

### 5.8.2 Site performance

Site performance may be validated by two methods which are described below – the site reference method and the *NSA* method.

#### 5.8.2.1 Theoretical normalized site attenuation

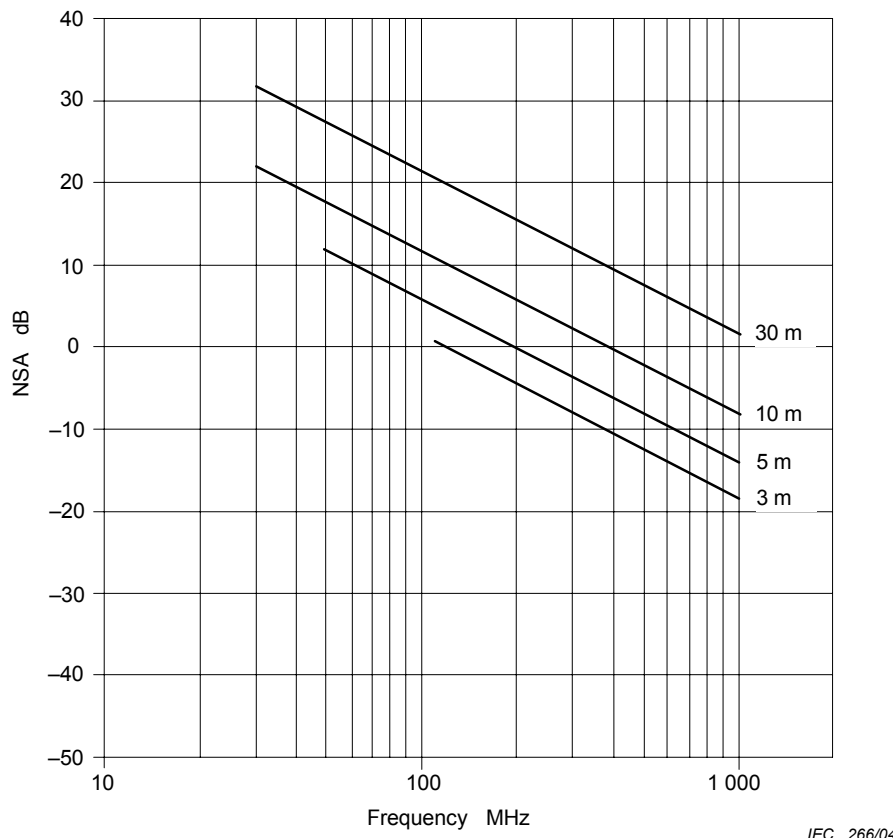


Figure 7 – Graph of theoretical free-space *NSA* as a function of the frequency for different measurement distances (see Equation 4)

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

The following describes the *NSA* theory for infinitely small antennas.

Site attenuation (SA) is the transmission loss measured between the connectors of two antennas on a particular site. For a free space environment, SA (in dB) can be approximated by Equation (2)<sup>1)</sup>

$$SA = 20\log_{10} \left[ \left( \frac{5Z_0}{2\pi} \right) \left( \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) \right] - 20\log_{10} f_m + AF_R + AF_T \quad (2)$$

where

$AF_R, AF_T$  are the antenna factors of the receive and transmit antennas in dB/m;  
 $d$  is the distance between the phase centres of both antennas in metres;  
 $Z_0$  is the reference impedance (i.e. 50  $\Omega$ );  
 $\beta$  is defined as  $2\pi/\lambda$ ; and  
 $f_m$  is the frequency in MHz.

The theoretical normalized site attenuation (*NSA*) in dB is defined as site attenuation with respective antenna factors subtracted, thus:

$$NSA_{\text{calc}} = 20\log_{10} \left[ \left( \frac{5Z_0}{2\pi} \right) \left( \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) \right] - 20\log_{10} f_m \quad (3)$$

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 7 and Equation (2). Near field correction factors are specific to the antennas, test distance, and test volume used, and therefore must be obtained by using a numerical modelling code such as NEC. Alternatively, the site reference method of 5.8.2.2.1 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 (3) may be omitted, and the equation simplifies as follows:

$$NSA_{\text{calc}} = 20\log_{10} \left[ \frac{5Z_0 d}{2\pi} \right] - 20\log_{10} f_m \quad (4)$$

1) Reference: GARBE, H. New EMC Test Facilities for Radiation Measurements. *Review of Radio Science* 1999-2002. John Wiley & Sons, New York, 2002.

If simplified Equation (4) is used instead of Equation (2), the error introduced is less than 0,1dB at frequencies above 60 MHz for 5 m distance and above 110 MHz for 3 m distance. The error will be >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 (2) should be used.

### 5.8.2.2 Site validation procedure

The NSA shall satisfy the requirement of 5.8.3 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 $d_{\max}$<br>and height $h_{\max}$ of the test<br>volume<br>m | Test distance<br>$D_{\text{nominal}}$<br>m |
|---------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------|
| 1,5                                                                             | 3,0                                        |
| 2,5                                                                             | 5,0                                        |
| 5,0                                                                             | 10,0                                       |

A single position SA (site attenuation) 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 15 measurement positions for both horizontal and vertical antenna polarizations of the transmit antenna in the test volume (see Figure 8):

- 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.

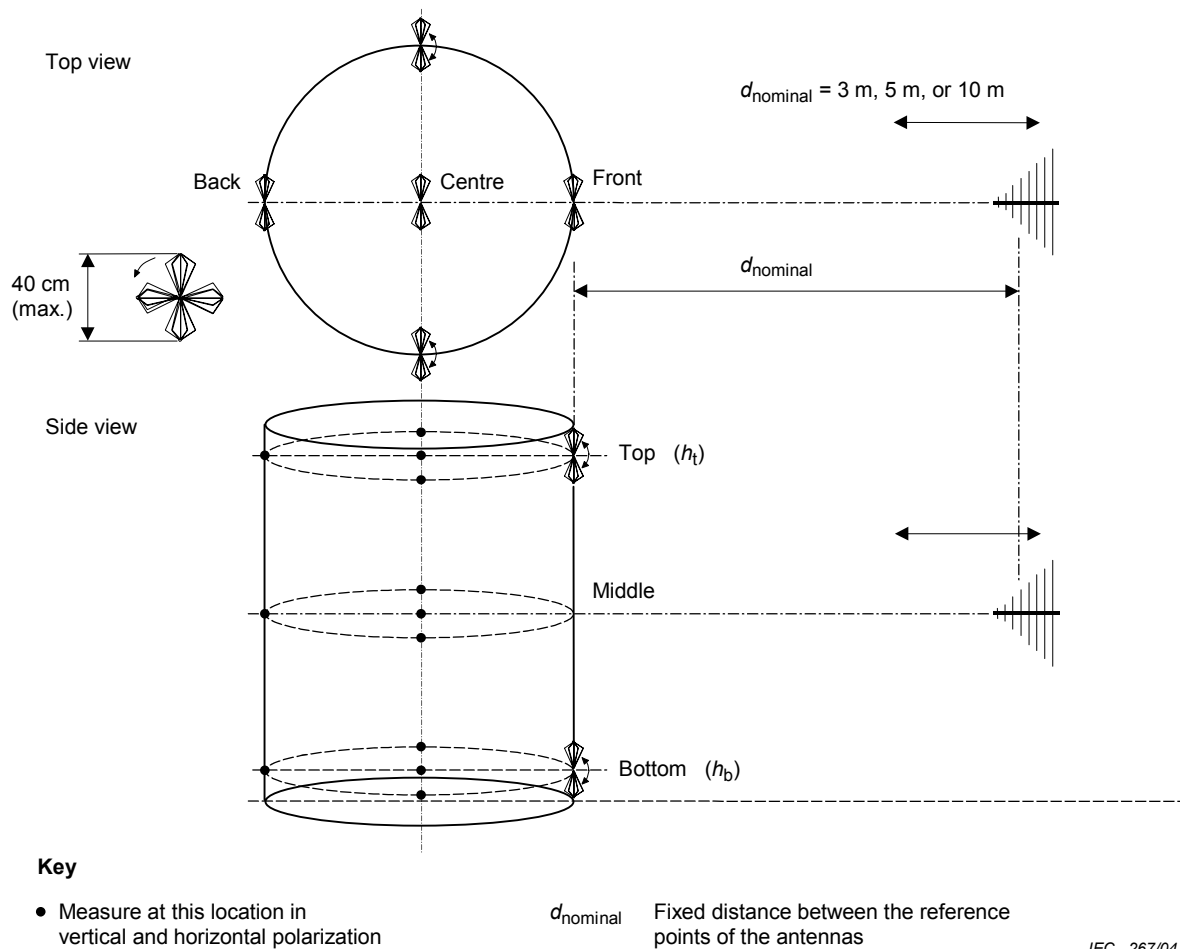
For SA measurements two broadband antennas shall be used: one transmit antenna with its reference point at the measurement positions of the test volume and one receive antenna outside this test volume at a prescribed orientation and position. The transmit antenna shall have an approximately omni-directional  $H$ -plane pattern. (The maximum dimension shall 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/LPD combination) antennas for 30 MHz to 1 000 MHz, or separate [biconical antennas (for 30 MHz to 200 MHz) and LPD antennas (for 200 MHz to 1 000 MHz)].

NOTE Use of a hybrid (biconical/LPD 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 (5.8.2.2.2). 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 8 and 9. 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  $d_{\text{nominal}}$ . 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  $d_{\text{nominal}}$ . The measurement axis is the line between the transmit and receive antenna, along which  $d_{\text{nominal}}$  is defined. For all positions and polarizations, the receiving and the transmitting antenna must face one another with the elements of both antennas parallel (tilting, see Figure 9). Any antenna masts and the supporting floors shall be in place during the validation procedure.



IEC 267/04

**Figure 8 – 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.

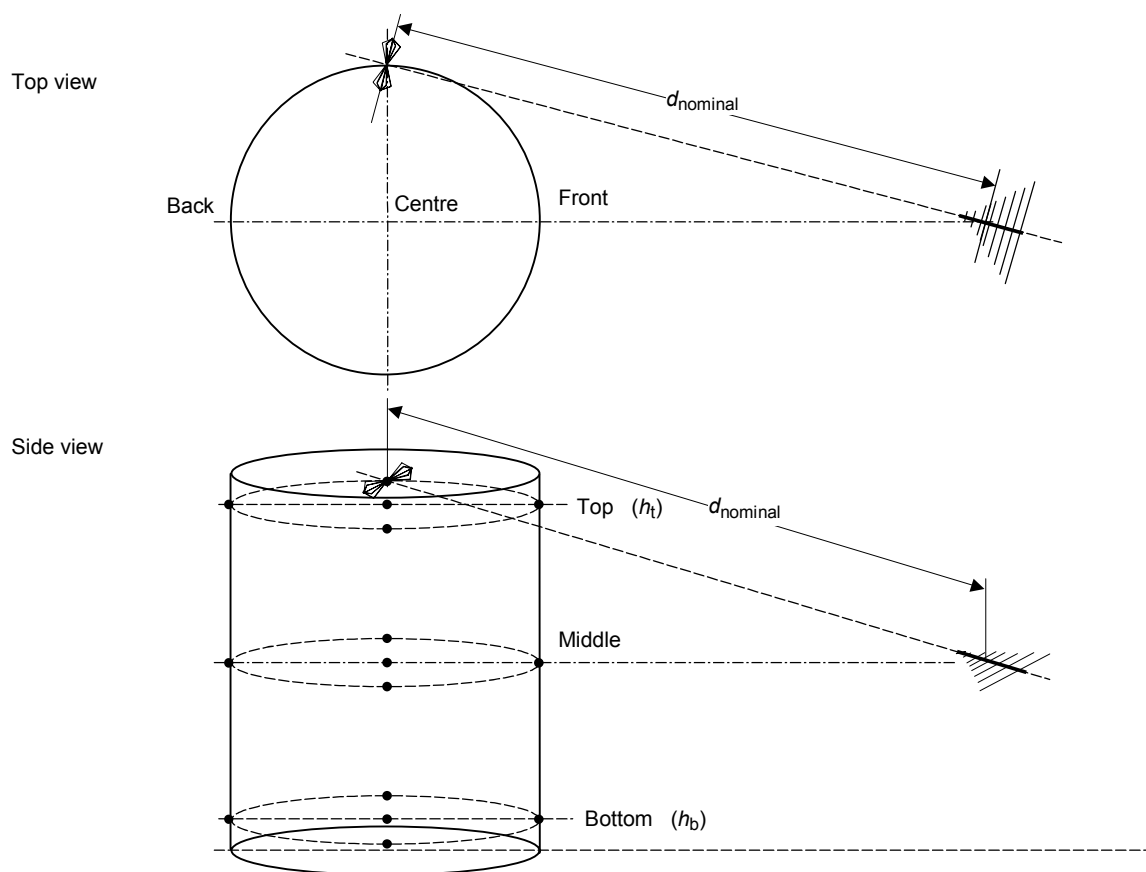
Tilting the antennas is necessary to meet this requirement at certain positions (see Figure 9).

$d_{\text{nominal}}$  { 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  $h_{\text{max}}$  (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.



IEC 268/04

NOTE Antenna polarization horizontal, position top right.

**Figure 9 – 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<br>MHz | Maximum frequency step<br>MHz |
|------------------------|-------------------------------|
| 30 – 100               | 1                             |
| 100 – 500              | 5                             |
| 500 – 1 000            | 10                            |

Two methods are permissible for site validation:

- a) the site reference method, which is required for test distances less than 5 m;
- b) 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  $180^\circ$  with respect to its bore sight axis. Antenna balance verification methods are described in 4.4.2).
- Separate biconical and LPD 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/LPD 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 fully anechoic room occur.

### 5.8.2.2.1 The site reference 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 ( $SA_{ref}$ ) is described in 5.8.2.2.2. 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  $SA_{ref}(d)$  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)  $M0$  is the reference level measured by the receiver in dBμV with the cables connected together, normally done once before a series of volumetric tests.
- 2)  $M1$  is the level measured by the receiver in dBμV with antennas installed.

The site attenuation of the validated site  $SA_{val}$  can be calculated by

$$SA_{val} = M0 - M1 \quad \text{in dB} \quad (5)$$

- 3) The deviation of the measured site attenuation ( $\Delta SA$ ) from reference site attenuation  $SA_{ref}(d)$  is calculated using Equation (6).

$$\Delta SA = SA_{ref}(d) - SA_{val} \quad \text{in dB} \quad (6)$$

### 5.8.2.2.2 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 10). One possible method of realization of the  $\pm 1$  dB performance of the reference site is to choose the height ( $h$ ) of the antennas as follows

$$h \geq d \times 8/3 \quad (7)$$

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 laboratories 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 10, or using RF-optical links.

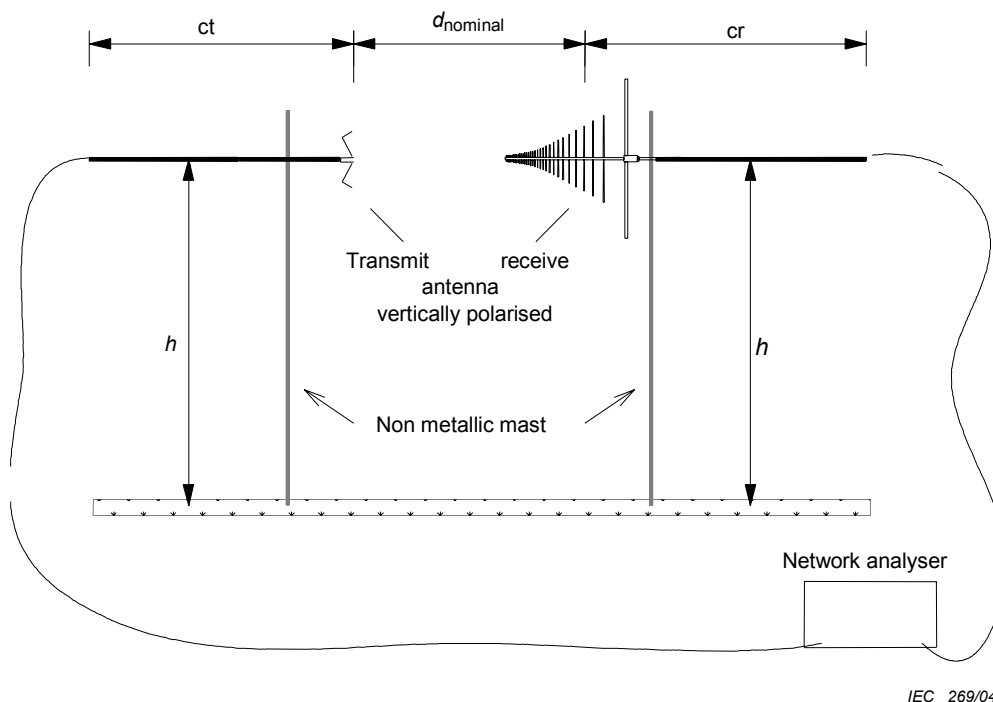
The quality of the reference set-up directly influences the FAR evaluation result.

The site reference ( $SA_{\text{ref}}$ ) is determined in 3 steps, as follows.

- 1)  $M0_{\text{RS}}$  is the reference level measured by the receiver in dB $\mu$ V with the cables connected together.
- 2)  $M1_{\text{RS}}(d)$  is the level measured by the receiver in dB $\mu$ V with the antennas installed at the required distance  $d_{\text{nominal}}$ .
- 3) The  $SA_{\text{ref}}(d)$  is calculated according to Equation (8)

$$SA_{\text{ref}}(d) = M0_{\text{RS}} - M1_{\text{RS}}(d) \text{ in dB} \quad (8)$$

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 must be proven that quasi-free space condition, as defined in 5.8.1, 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  $\pm 1$  dB reference site attenuation.



#### Key

$d_{\text{nominal}}$  validation distance

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

ct, cr 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 Site reference is obtained separately for all geometries of Figure 10.

**Figure 10 – Typical free-space site reference measurement set-up**

### 5.8.2.2.3 The NSA method

The free space antenna factors of the transmit and receive antenna (defined by antenna calibration clauses of the CISPR 16 series) are required for this procedure. The site validation for each measurement position is performed in 4 steps as follows.

- 1)  $M0$  is the reference level measured by the receiver with the cables connected together.
- 2)  $M1$  is the level measured by the receiver with the antennas installed.
- 3) The measured NSA ( $NSA_m$ ) is calculated in dB according to Equation (9)

$$NSA_m = M0 - M1 - AF_T - AF_R \text{ in dB} \quad (9)$$

where  $AF_T$  and  $AF_R$  are free space antenna factors in dB/m.

- 4) The deviation  $\Delta NSA$  is calculated in dB according to Equation (10)

$$\Delta NSA = NSA_m - NSA_{calc} \quad (10)$$

where  $NSA_{calc}$  is calculated using Equation (4), and  $\Delta NSA$  is compared with the applicable NSA criterion, e.g.  $\pm 4$  dB, as specified in 5.8.3.

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

### 5.8.3 Site validation criteria

A measurement site shall comply with the following requirements:

- deviations of the SA or the NSA (Equation 6 or Equation 10) shall be less than  $\pm 4$  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 must be reported and shall have the same components as required for field strength measurements on alternative test sites with ground plane.

## 5.9 Evaluation of set-up table and antenna tower

### 5.9.1 Introduction

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 Bibliography). The following subclause (5.9.2) describes a procedure to determine the influence of the set-up table for the 30 MHz to 1 000 MHz frequency range and to estimate its related uncertainty contribution to field strength measurements.

NOTE Only horizontal polarisation of a transmit antenna above the setup table is used in the evaluation. This polarisation 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.

### 5.9.2 Evaluation procedure for set-up table influences (table-top equipment)

The type, shape, and component materials of a set-up table may affect the field strength measurement results. An evaluation procedure shall be performed to determine these effects, and to estimate the standard uncertainties caused by the table. To evaluate set-up table influences, two transmission measurements are performed with a specific transmit antenna in a specific arrangement with and without the set-up table. This 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 circular a top) facing the receive antenna direction (see Figure 11). For the frequency range up to 1 000 MHz, a small biconical antenna with an overall length of less than 0,40 m is placed above the set-up table in horizontal polarization. The distance between the surface of the set-up table and the balun centre is 0,1 m (see Figure 12). The small biconical antenna is positioned with the reference point (balun) midway between the centre and the edge of the setup table top in the direction of the receive antenna. A signal generator feeds the transmit antenna above the set-up table. The 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 feed cable is routed horizontally to the rear for approximately 2 m at the same height as the antenna. Ferrite tubes should be placed on the receive antenna feed cable at suitable intervals to prevent the feed cable from influencing measurements.

Two transmission measurements shall be performed to investigate the maximum voltage  $V_r$  at the receive antenna, with transmit antenna position unchanged for each test – one with and one without the set-up table. In the frequency range below 1 GHz, measurements shall be performed at least in the frequency range of 200 MHz<sup>2)</sup> to 1 GHz. The receive antenna is height scanned between 1 m and 4 m for an OATS or SAC, while in a FAR, the receive antenna is at a fixed height.

The difference  $\Delta(f)$  between the two measurement results is then calculated using the Equation (11), with measured voltages are in dB( $\mu$ V),

$$\Delta(f) = |V_{r/with} - V_{r/without}| \quad (11)$$

where

$V_{r/without}$  is voltage measured at a specific frequency without the set-up table;

$V_{r/with}$  is voltage measured at a specific frequency with the set-up table.

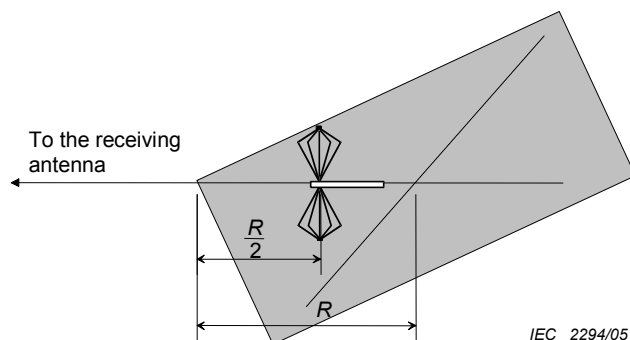
The magnitude of the maximum difference  $\Delta_{max}$  in the frequency range of 200 MHz to 1 000 MHz is used as the estimated maximum deviation, with  $\Delta_{max}$  is in dB,

$$\Delta_{max} = \max |V_{r/with} - V_{r/without}|_{200 \text{ MHz} - 1 \text{ 000 MHz}} \quad (12)$$

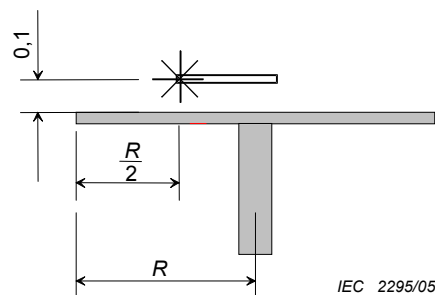
The standard uncertainty  $u_{table}$  caused by the set-up table is estimated by assuming a rectangular distribution for the measured maximum difference  $\Delta_{max}$ . So  $u_{table}$  (in dB) can be calculated using Equation (13).

$$u_{table} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \Delta_{max} \quad (13)$$

2) Below about 200 MHz, the influence of the set-up table is negligible when applying this verification procedure.



**Figure 11 – Position of the antenna relative to the edge above a rectangle set-up table (top view)**



**Figure 12 – Antenna position above the set-up table (side view)**

NOTE Test laboratories typically may apply different types of tables of which the construction and the type of materials may differ. It is sufficient to determine the worst-case value of  $\Delta$  (or  $V_{r/with}$ ) in the determination of  $u_{table}$ .

### 5.9.3 Evaluation procedure for set-up table influences (floor standing equipment)

The set-up table for a floor-standing EUT shall be constructed using a non-conducting, low-permittivity material. If the set-up table perimeter is less than or equal to the EUT perimeter at the base (footprint), evaluation of table is not required.

## 6 Reverberating chamber for total radiated power measurement

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.

### 6.1 Chamber

#### 6.1.1 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 m<sup>3</sup> 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 m<sup>3</sup>. The actual dimensions will depend on the physical characteristics of the chamber. See 6.1.4 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.

### 6.1.2 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.

### 6.1.3 Stirrers

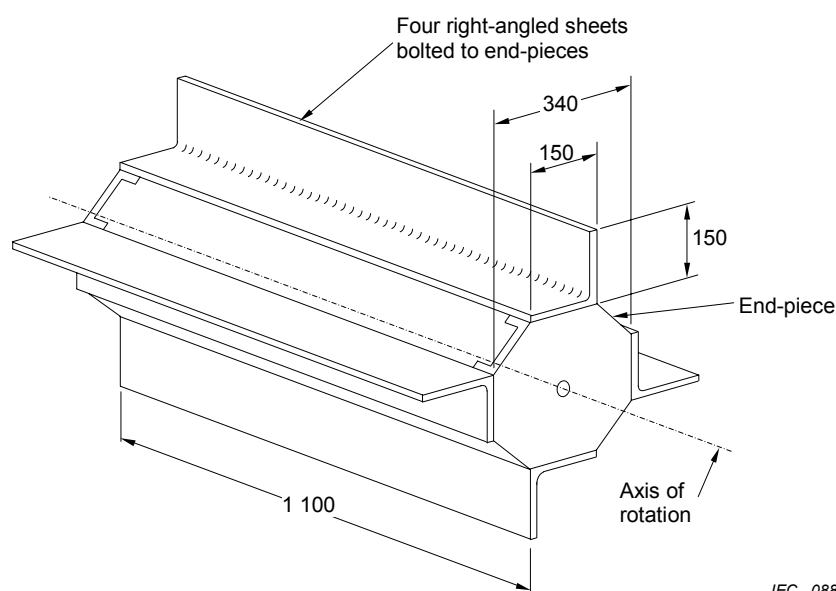
The following describes two examples of stirrers. Other shapes are permissible provided stirring efficiency meets the criteria in 6.1.4.

#### 6.1.3.1 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.

#### 6.1.3.2 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 13 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 13 – Example of a typical paddle stirrer**

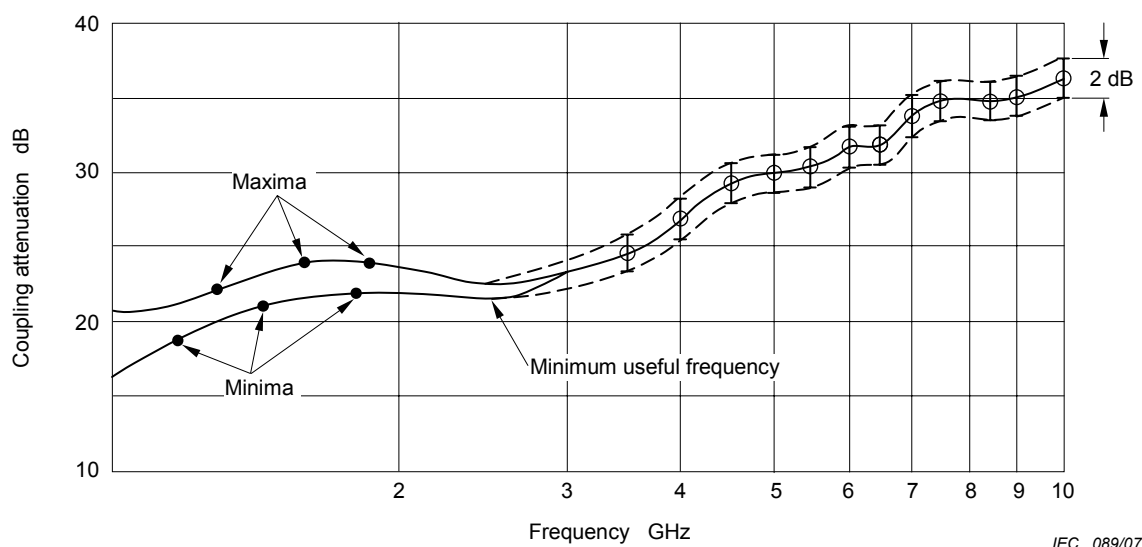
### 6.1.3.3 Rotating speed

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 6.1.5, 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.

### 6.1.4 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 6.1.5). 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-degree 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 14 shows a typical result.



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

**Figure 14 – Range of coupling attenuation as a function of frequency for a chamber using the stirrer in Figure 13**

### 6.1.5 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  $10 \log (P/p)$  dB.

## 7 TEM cells for immunity to radiated disturbance measurement

(Under consideration)

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

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.

### 8.1 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.

### 8.2 Validation of the test site

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 8.2.1; 8.2.2 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 which 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 Subclause 7.3.6.1 of CISPR 16-2-3), and absorbing material placed on the ground plane, if needed to meet the criterion of 8.2.1. 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 5.8 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

$$S_{VSWR} = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (14)$$

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

$$S_{VSWR,dB} = 20 \log \left( \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \right) = 20 \log \left( \frac{E_{\max}}{E_{\min}} \right) = V_{\max,dB} - V_{\min,dB} = E_{\max,dB} - E_{\min,dB} \quad (15)$$

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, dBμV, or dBμV/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 8.2.2.

### 8.2.1 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 8.2.2.

### 8.2.2 Site validation procedures

This subclause describes the required procedures for evaluating  $S_{VSWR}$ .

#### 8.2.2.1 Antenna requirements

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.

##### 8.2.2.1.1 Test equipment for the standard $S_{VSWR}$ procedure (8.2.2.3)

The receive antenna must 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 “bore-sight” direction,  $B$ .

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.<sup>3)</sup>

##### 8.2.2.1.1.1 Transmit antenna E-plane radiation pattern

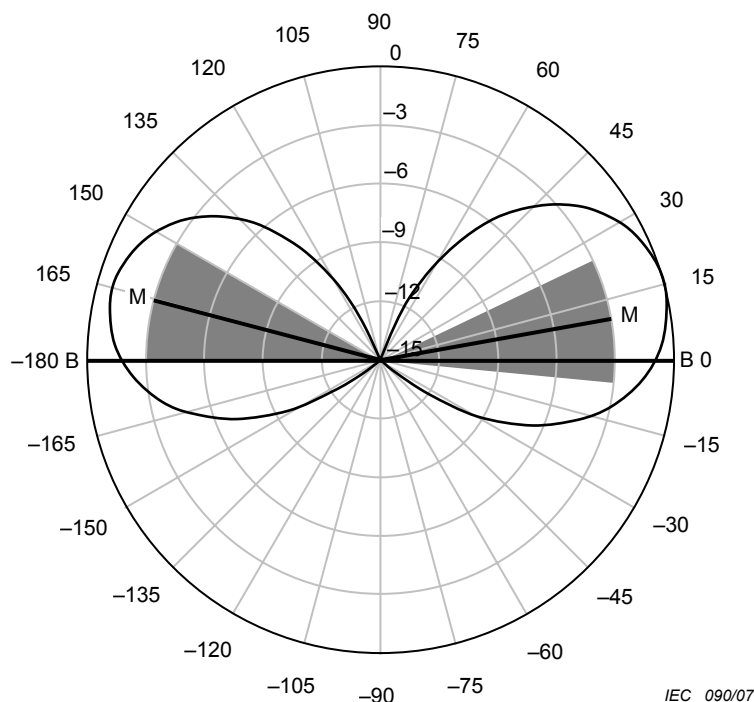
An E-plane radiation pattern for an antenna with simple linear polarization can be measured at one of many possible cut planes (constant azimuth angle) around the radiation sphere. The cut plane for pattern measurements shall be selected by the antenna manufacturer and described in the antenna characterization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

- Choose a main lobe direction, designated as  $M$ , for the right and the left side of each pattern.  $M$  shall be between  $0^\circ \pm 15^\circ$  and  $180^\circ \pm 15^\circ$ , respectively.
- Draw the so-called forbidden area symmetrical to the main lobe directions on both sides of the pattern<sup>4)</sup> where amplitude is  $\leq -3$  dB for  $\pm 15^\circ$ .
- The E-plane pattern shall not enter the forbidden area.

<sup>3)</sup> It is assumed that the antenna also fulfils the requirements at other frequencies used for the  $S_{VSWR}$  test.

<sup>4)</sup> This limit ensures a smooth pattern in the bore-sight region, and an acceptable omni-directional behaviour.

Figure 15 shows an example radiation pattern that meets the preceding E-plane requirements.



NOTE The example plot is for an antenna that meets the E-plane requirements of 8.2.2.1.1.1. The main lobe directions, *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  $\leq -3$  dB for  $\pm 15^\circ$  of each main lobe. The antenna pattern does not enter the forbidden area.

**Figure 15 – Transmit antenna E-Plane radiation pattern example  
(for informative purposes only)**

#### 8.2.2.1.1.2 Transmit antenna H-plane radiation pattern

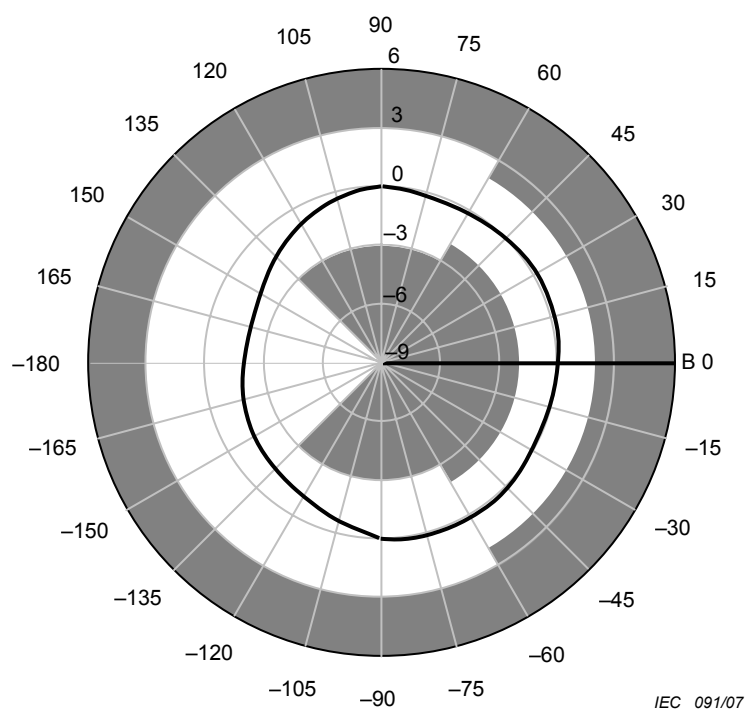
There is only one possible plane in which to measure the H-plane pattern of a dipole antenna, which is the plane orthogonal to the dipole axis intersecting the centre of the dipole. This plane may include a balun, an input connector, and the input cable, depending whether a metal or optical fiber is 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  $\pm 135^\circ$  ( $0^\circ$  is the bore-sight angle). The maximum step size for this pattern data is  $5^\circ$  in the frequency range of 1 GHz to 6 GHz, and  $1^\circ$  from 6 GHz to 18 GHz.
- The pattern must not exceed the following deviations from the  $\pm 135^\circ$ -averaged value:

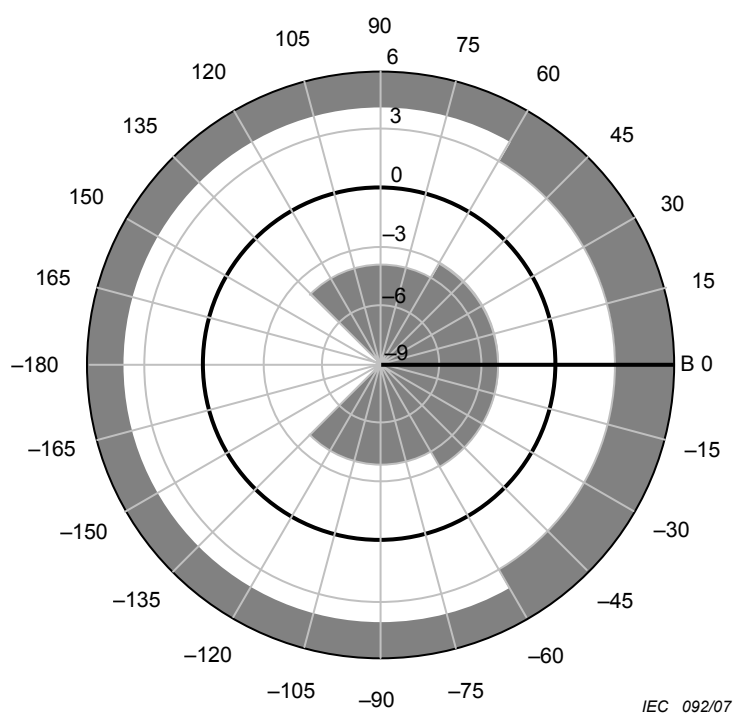
| Angle range                                               | 1 GHz to 6 GHz | 6 GHz to 18 GHz |
|-----------------------------------------------------------|----------------|-----------------|
| $-60^\circ$ to $60^\circ$                                 | $\pm 2$ dB     | $\pm 3$ dB      |
| $-60^\circ$ to $-135^\circ$ , $60^\circ$ to $135^\circ$   | $\pm 3$ dB     | $\pm 4$ dB      |
| $-135^\circ$ to $-180^\circ$ , $135^\circ$ to $180^\circ$ | $< +3$ 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 omni-directional 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 16 shows an example pattern that meets the preceding H-plane requirements.



**Figure 16a – 1 GHz to 6 GHz**



**Figure 16b – 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 8.2.2.2.1.1.2. This example antenna meets the requirements because the pattern does not enter the shaded regions.

**Figure 16 – Transmit antenna H-plane radiation pattern  
(for informative purposes only)**

#### 8.2.2.1.2 Test equipment for the reciprocal $S_{VSWR}$ procedure (8.2.2.4)

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 omni-directional with an isotropicity of 3 dB or better.

#### 8.2.2.2 Required positions for site validation testing

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 8.2.2.3, 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 8.2.2.4, 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 8.2.2.5. 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 17 and Figure 18, including the conditional locations described in 8.2.2.5. The sequence of six measurements along the line to the receive antenna is indicated by dots in these figures.

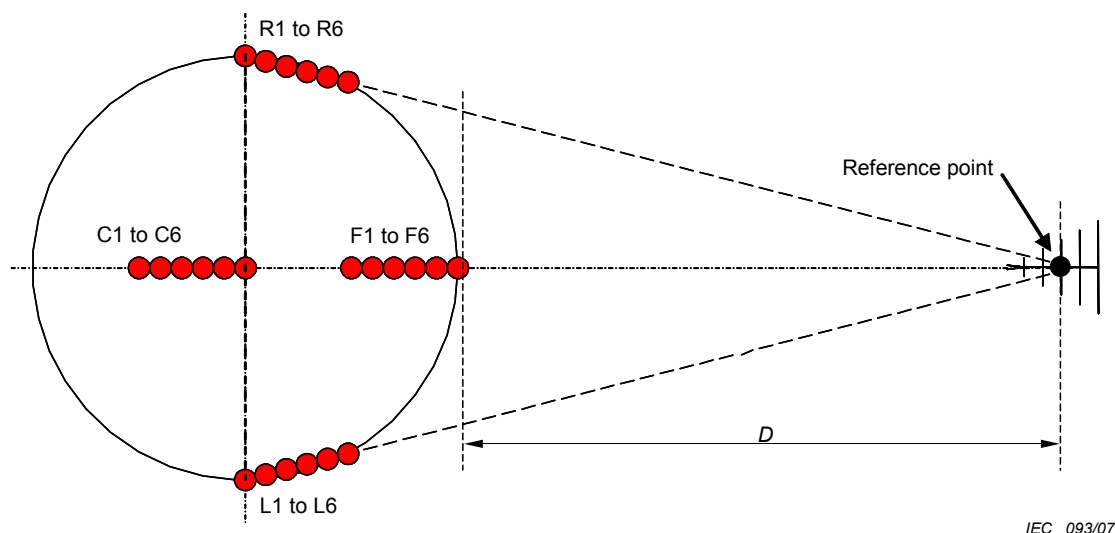


Figure 17 –  $S_{VSWR}$  measurement positions in a horizontal plane – see 8.2.2.2.1 for description

### 8.2.2.2.1 Descriptions of $S_{VSWR}$ measurement positions in a horizontal plane (Figure 10)

- a) Front positions 1-6 (F1 to F6): The front positions are on a line from the center 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 1-6 (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 17).

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 1-6 (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 17).

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) Center positions 1-6 (C1 to C6): These positions are located relative to position C6. Position C6 is at the center 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 8.2.2.5).

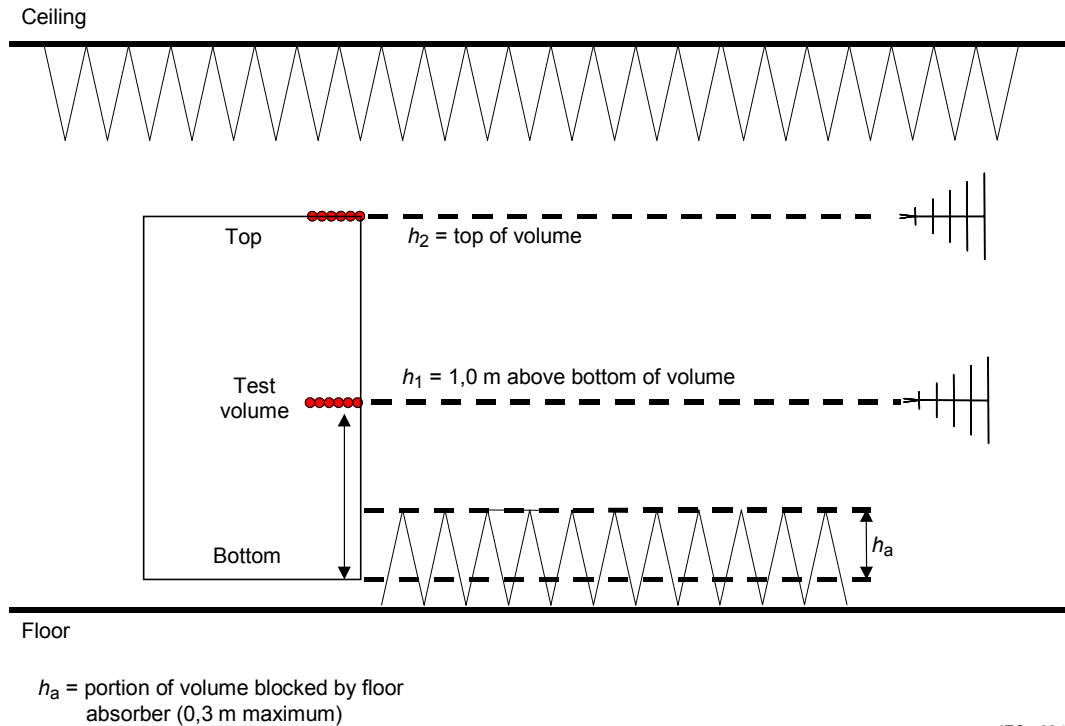
C5 to C1 are measured relative to C6, moving away from the receive antenna as follows:

- 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

#### 8.2.2.2.2 Descriptions of $S_{VSWR}$ additional measurement positions (Figure 18)

In addition to the locations indicated in Figure 17, 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 18 illustrates the additional height requirement for  $S_{VSWR}$  measurements. The test at the second height is to be performed at the front position only.



#### 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 8.2.2.5 for details).

**Figure 18 –  $S_{VSWR}$  positions (height requirements)**

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, center). For each location, a reference position is designated for use in the calculations required by Equation (16).

**Table 5 –  $S_{VSWR}$  test positions**

| Position name                                                                                  | Location | Height | Polarization | Reference position for $D_{ref}$ [see Equation (13)] | Location relative to reference position |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|----------|--------|--------------|------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| <b>Front positions (Front, <math>h_1</math>) at first height</b>                               |          |        |              |                                                      |                                         |
| 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, $h_1$ )    |
| <b>Center positions (Center, <math>h_1</math>) at first height (if required - see 8.2.2.5)</b> |          |        |              |                                                      |                                         |
| C1h1H                                                                                          | Center   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | +40 cm away from the receive antenna    |
| C1h1V                                                                                          | Center   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | +40 cm away from the receive antenna    |
| C2h1H                                                                                          | Center   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | +30 cm away from the receive antenna    |
| C2h1V                                                                                          | Center   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | +30 cm away from the receive antenna    |
| C3h1H                                                                                          | Center   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | +18 cm away from the receive antenna    |
| C3h1V                                                                                          | Center   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | +18 cm away from the receive antenna    |
| C4h1H                                                                                          | Center   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | +10 cm away from the receive antenna    |
| C4h1V                                                                                          | Center   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | +10 cm away from the receive antenna    |
| C5h1H                                                                                          | Center   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | +2 cm away from the receive antenna     |
| C5h1V                                                                                          | Center   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | +2 cm away from the receive antenna     |
| C6h1H                                                                                          | Center   | $h_1$  | Horizontal   | C6h1                                                 | = Reference position (Center, $h_1$ )   |
| C6h1V                                                                                          | Center   | $h_1$  | Vertical     | C6h1                                                 | = Reference position (Center, $h_1$ )   |

Table 5 (continued)

| Position name                          | Location | Height | Polarization | Reference position for $D_{\text{ref}}$ [see Equation (13)] | Location relative to reference position                                 |
|----------------------------------------|----------|--------|--------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------|
| <b>Right positions at first height</b> |          |        |              |                                                             |                                                                         |
| 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, $h_1$ )                                    |
| <b>Left positions at first height</b>  |          |        |              |                                                             |                                                                         |
| 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 $D_{\text{ref}}$ [see Equation (13)] | Location relative to reference position |
|-----------------------------------------------------------------------------|----------|--------|--------------|-------------------------------------------------------------|-----------------------------------------|
| Front positions at second height (if required – see 8.2.2.5)                |          |        |              |                                                             |                                         |
| 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 $S_{\text{VSWR}}$ measurements may be performed in any sequence. |          |        |              |                                                             |                                         |

### 8.2.2.3 $S_{\text{VSWR}}$ 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 (8.2.2.6) 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 transmit source and receive antenna to vertical and repeat the above procedure for positions  $P_{F1h1V}$  through  $P_{F1h6V}$  in order to obtain  $M_{F1h1V}$  through  $M_{F6h1V}$ .
- f) For all measurements, normalize the measured E-field or voltage data to the distance of the reference position shown in Table 5 using Equation (16):

$$M'_{mnopq} = M_{mnopq} + 20 \log \left( \frac{D_{mnopq}}{D_{ref}} \right) \text{ (dB)} \quad (16)$$

where  $D_{mnopq}$  is the actual separation distance for the measurement location,  $D_{ref}$  is the separation distance measured to the reference position, and  $M_{mnopq}$  is the measured signal (E-field or receiver voltage) in decibels. Note that each measurement location has a different reference position corresponding to position 6, as indicated in Table 5 for  $P_{mnopq}$ .

- g) Using Equation (14) or Equation (15), calculate the  $S_{VSWR}$  for horizontal polarization. Using Equation (15),  $S_{VSWR, dB}$  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 [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 8.2.1.
- i) Repeat steps a)-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 bore-sight direction shall be aimed towards the receive antenna. However, the receive antenna shall remain facing towards the center (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 8.2.2.5, repeat the above procedure for the measurements at the center 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.

#### 8.2.2.4 $S_{VSWR}$ 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 8.2.2.1. 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 must be known.

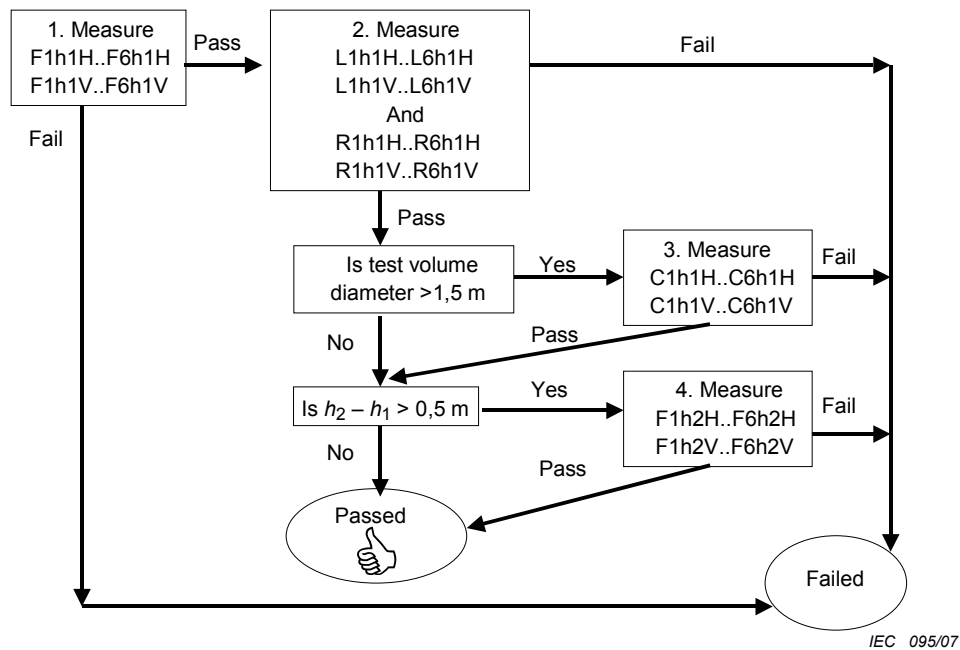
The reciprocal  $S_{VSWR}$  site validation test procedure using an isotropic field probe is as follows.

- 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 (8.2.2.6) 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 (16).
- g) Using Equation (14) or Equation (15), calculate the  $S_{VSWR}$  for horizontal polarization. Using Equation (15),  $S_{VSWR,dB}$  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 [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 8.2.1.
- 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 center 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 8.2.2.5, repeat the above procedure for the measurements at the center 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.

#### 8.2.2.5 Conditional test position requirements

As indicated in Figure 17, Figure 18 and Table 5, additional test positions are required to be tested depending upon the size of the test volume. Figure 19 presents a flow chart specifying when these additional measurements are required.



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 19 – Conditional test position requirements**

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 8.2.2.3 or 8.2.2.4.

#### 8.2.2.6 $S_{VSWR}$ site validation test report

Table 6 lists a summary of all of the possible required  $S_{VSWR}$  measurements and calculations, including the results from the required positions and the conditional positions of 8.2.2.5.

**Table 6 –  $S_{VSWR}$  reporting requirements**

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

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

### 8.2.2.7 Limitations of the $S_{VSWR}$ site validation method

The measurement points chosen for 8.2.2.2 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 8.2.2.3 or 8.2.2.4 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 17 and Figure 18. 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.

### 8.3 Alternative test site

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 21. The reference method for the measurement of S-parameters with the highest possible accuracy uses a vector network analyser (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 21. 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 22 to 24.

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 21). 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,  $Z_{\text{ref}}$ , 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,  $h$ :

$$Z_{\text{ref}} = \frac{Z_0}{2\pi} \cosh^{-1}\left(\frac{2h}{d}\right) \text{ in } \Omega \quad (17)$$

where

$Z_0$  is the free-space impedance ( $120 \pi$ ) in  $\Omega$ ;

$d$  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  $Z_{\text{ref}}$  for various heights  $h$  are:

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

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

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

## 9.4 Measurement method using the TRL calibration

The 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 21). 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 must 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:

$$f_L = 0,05 \frac{c}{L} \quad (18)$$

$$f_H = 0,45 \frac{c}{L} \quad (19)$$

where  $c$  is  $3 \times 10^8$  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:

- “Reflect” (Port A): Measuring the complex value  $S_{11}$  of the adaptor section and adaptor at port 1 without any other connection (simulating an open-circuit condition) [Figure 25 a)]
- “Reflect” (Port B): Measuring the complex value  $S_{22}$  of the adaptor section and adaptor at port 2 without any other connection (simulating an open-circuit condition) [Figure 25 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 25 c)]
- “Line”: Measuring the complex values  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$  with the line section introduced [Figure 25 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 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 – 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),  $Z_{0\_jig}$ .

### 9.5 CMAD performance (degradation) check using spectrum analyser (SA) and tracking generator (TG)

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 analyser 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 21. 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.

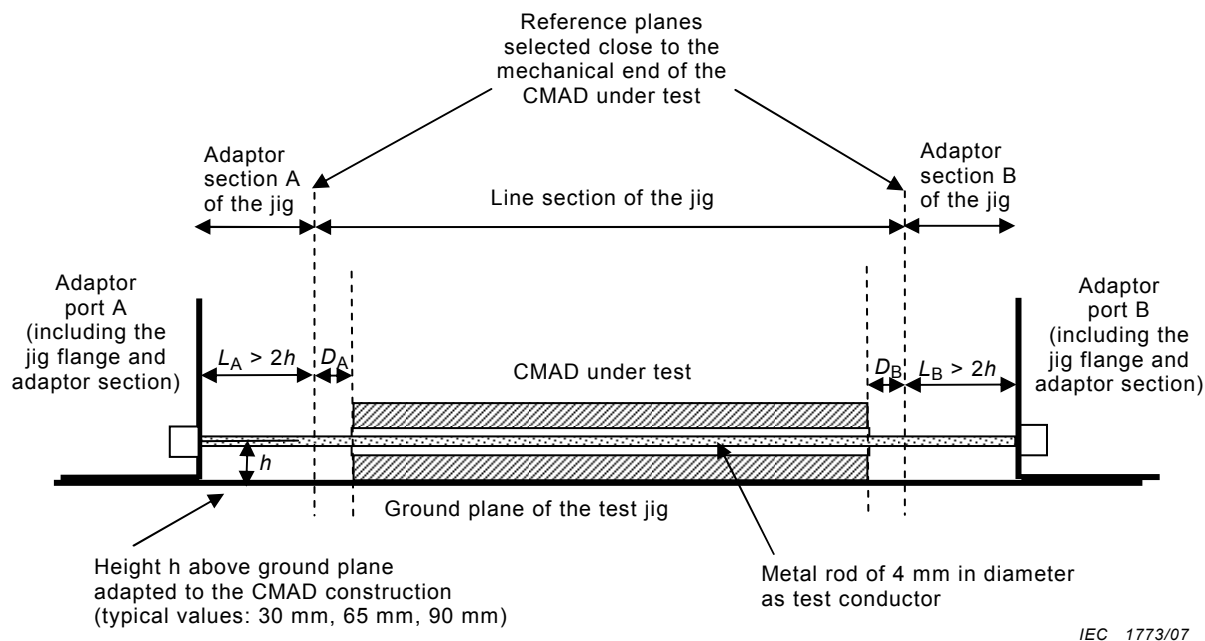
Any adaptor construction (Figures 22 to 24) can be used for this performance/degradation check. To avoid resonance effects in cables between test jig and measurement instrument, it is necessary to include two 10 dB attenuators close to the test jig connection during this performance check.

When 50  $\Omega$  adaptors are used (Figure 22), the insertion loss measurement for the performance/degradation check is the difference in dB between attenuation measurements for the following two configurations:

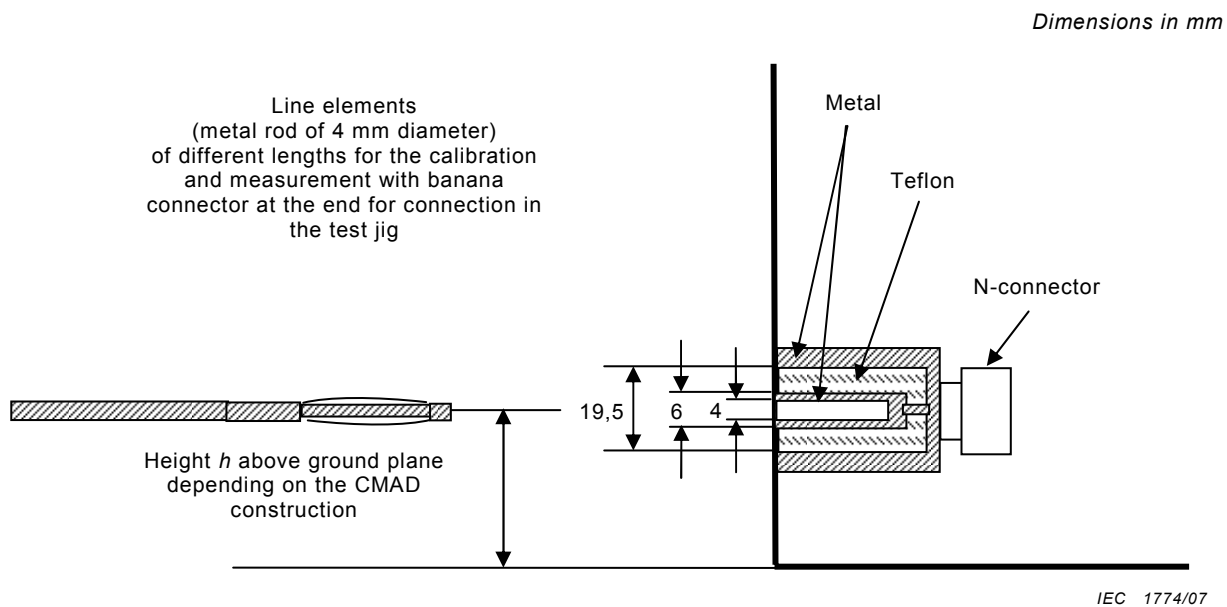
- a) Configuration 1: direct connection of the two attenuators without the test jig.
- b) Configuration 2: the two attenuators connected to the test jig with the CMAD included.

If matching adaptors (Figure 23 or Figure 24) are used, the insertion loss measurement for the degradation check is the difference between the attenuation measured for the following two configurations:

- a) Configuration 1: the two attenuators connected to the test jig without the CMAD (empty jig);
- b) Configuration 2: the two attenuators connected to the test jig with the CMAD included.

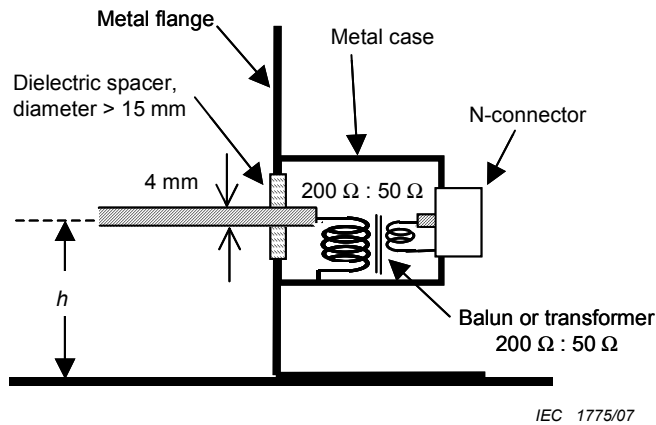


**Figure 21 – Definition of the reference planes inside the test jig**



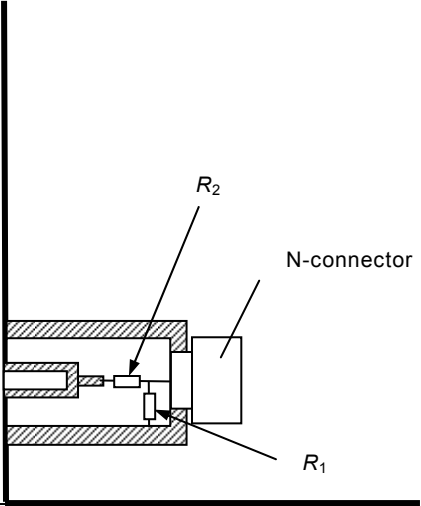
The bottom sides of the vertical flange have to be electrically bonded to the metallic ground plane

**Figure 22 – Example of a 50  $\Omega$  adaptor construction in the vertical flange of the jig**



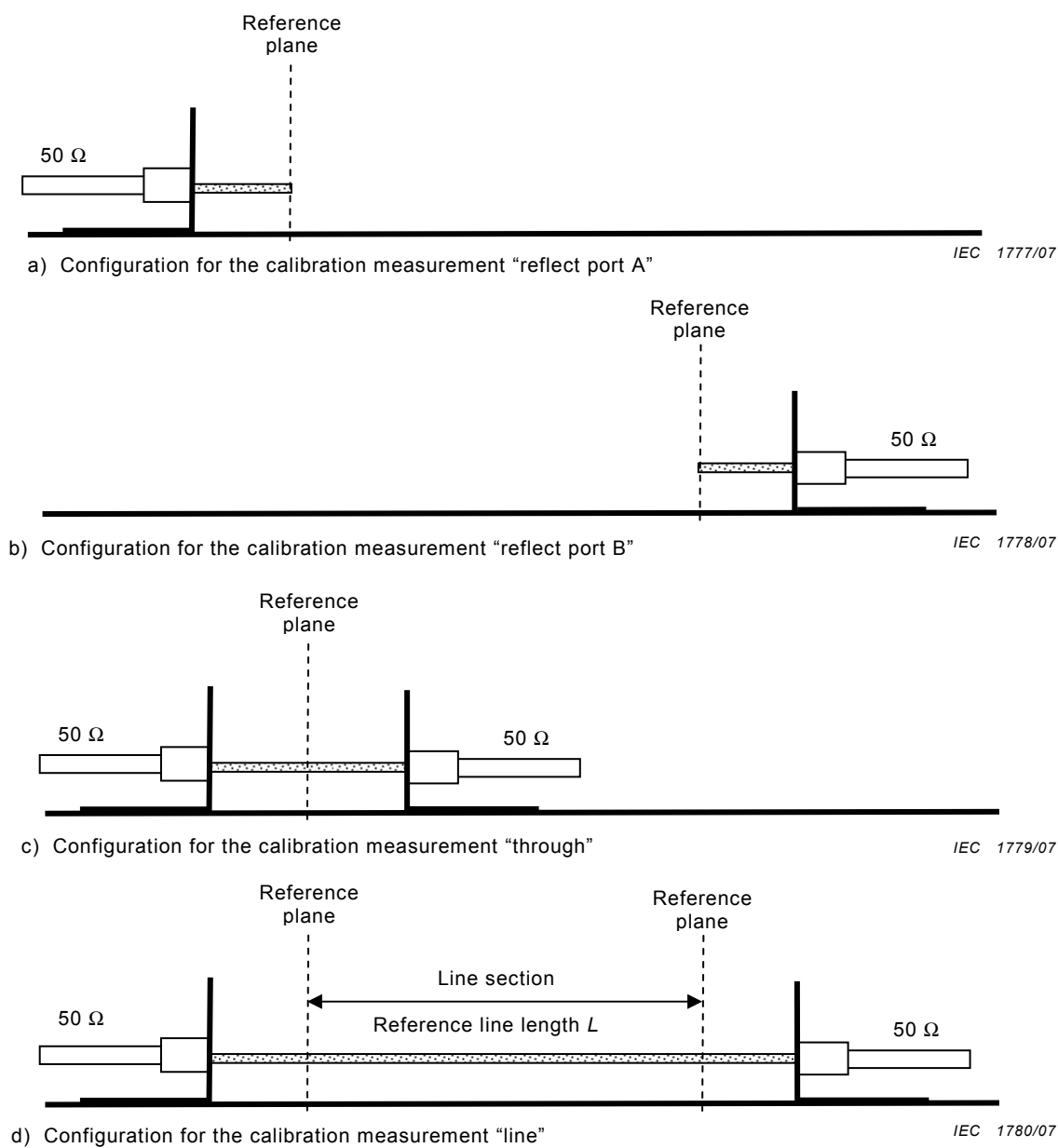
If the centre tap of the balanced port is connected to the balun case, it must be disconnected.

Figure 23 – Example of a matching adaptor with balun or transformer

|                                                                                    |                                                                                                                            |                          |                   |                   |
|------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|-------------------|-------------------|
|  | $R_1 = 50 \sqrt{\frac{Z_{0\_jig}}{Z_{0\_jig} - 50}} \quad \Omega$ $R_2 = \sqrt{Z_{0\_jig} (Z_{0\_jig} - 50)} \quad \Omega$ |                          |                   |                   |
|                                                                                    | $h$<br>mm                                                                                                                  | $Z_{0\_jig}$<br>$\Omega$ | $R_1$<br>$\Omega$ | $R_2$<br>$\Omega$ |
|                                                                                    | 30                                                                                                                         | 204                      | 57,6              | 177,3             |
|                                                                                    | 65                                                                                                                         | 248                      | 56,0              | 221,6             |
|                                                                                    | 90                                                                                                                         | 270                      | 55,4              | 243,7             |

IEC 1776/07

Figure 24 – Example of a matching adaptor with resistive matching network



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 has to be selected according to the frequency range needed.

**Figure 25 – The four configurations for the TRL calibration**

## **Annex A** (normative)

### **Parameters of antennas**

#### **A.1 Introduction**

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  $\Omega$  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**

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 4.1. The low-uncertainty antennas are described in A.2.2.

##### **A.2.1 Calculable antenna**

The calculable standard dipole antenna achieves the lowest uncertainty for E-field strength. The antenna factor can be calculated for free-space and at any height and polarisation 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.2.2 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 4.4.4 and any balun shall meet the requirements indicated in 4.4.3. 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), 6 wire elements emanating in a cone shape, with a broadest diameter of approximately 0,52 m. The balun shall be a 200  $\Omega$  design (200  $\Omega$  to 50  $\Omega$  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 in MIL STD 461A<sup>5)</sup>, designed to operate from 20 MHz to 200 MHz. The collapsible element design gives better performance than the closed "cage" element design 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

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 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 polarised 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.3.1 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 give the factor in decibels. This does not

<sup>5)</sup> MIL-STD-461A: Electromagnetic Interference (EMI) Characteristics Requirements for Equipment

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.

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

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 4.4.1.

### A.3.2 Shortened dipole

A dipole shorter than a half wavelength may be used provided:

- a) the total length is greater than 1/10 of a 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 4.4.2). 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  $\pm 3$  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 of input impedance of  $50 \Omega$ , and for various  $l/d$  ratios. On these figures, 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.

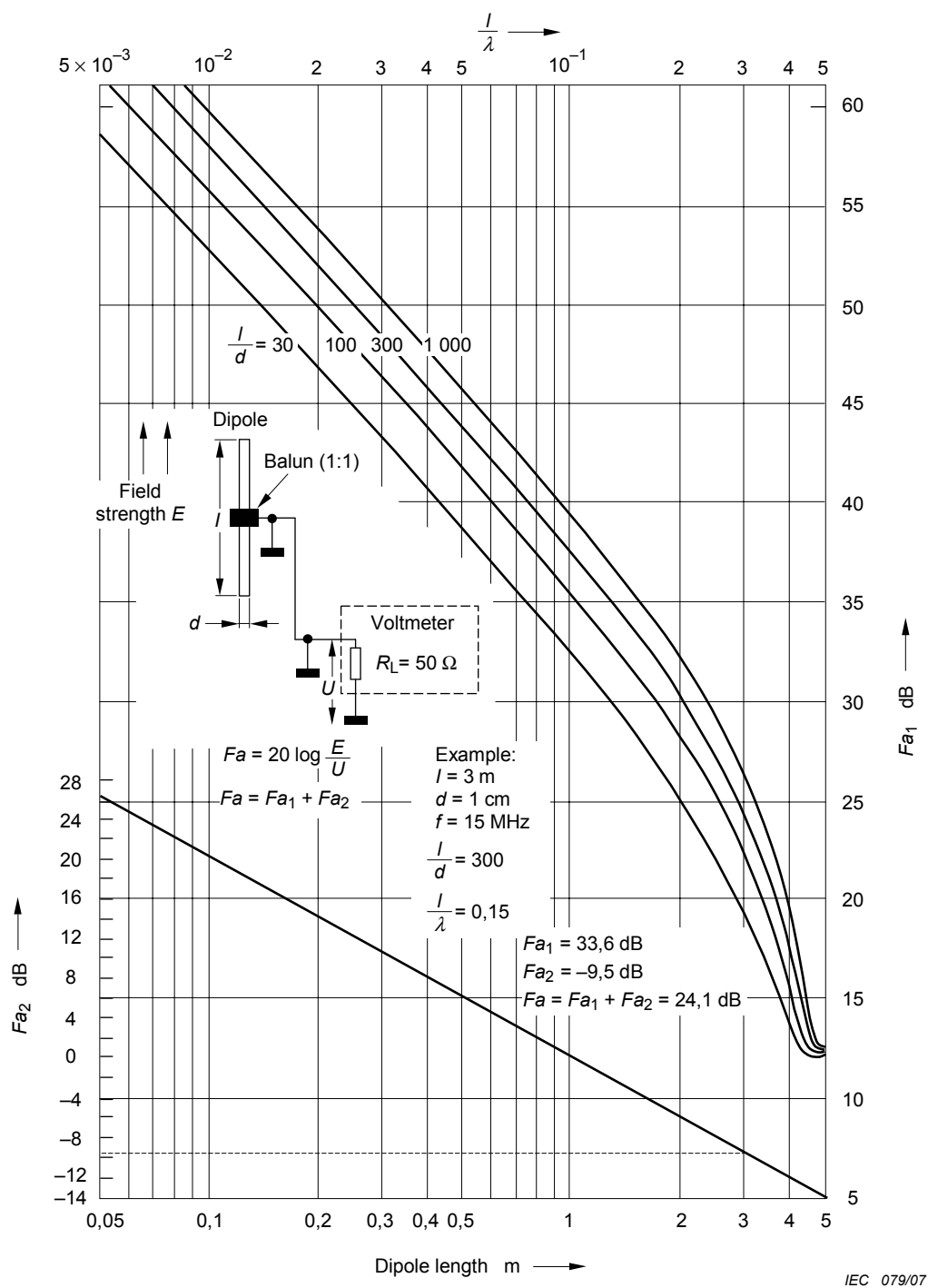


Figure A.1 – Short dipole antenna factors for  $R_L = 50 \Omega$  (refer to A.3.2.d), Note)

## **A.4 Broadband antenna parameters**

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 nor the addition of antenna element sections. The input impedance of such antennas typically is a complex quantity. Other parameters that can be specified are contained below.

### **A.4.1 Antenna type**

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.4.1.1 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 loop antennas are generally not variable.

#### **A.4.1.2 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.4.1.3 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.4.1.4 Mounting arrangement**

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

#### **A.4.1.5 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.4.1.6 Balun type**

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

### **A.4.2 Specification of the antenna**

#### **A.4.2.1 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.4.2.2 Gain and antenna factor**

##### **A.4.2.2.1 Gain**

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

#### **A.4.2.2.2 Antenna factor**

Specify typical or actual antenna factor in decibels per metre. Antenna calibration procedures are under consideration and being prepared for CISPR 16-1-5.

Both gain and antenna factor should be measured using the calibration procedure in A.2.3.1.

#### **A.4.2.3 Directivity and pattern for linear polarization**

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 less directional antennas, specify the front-to-back ratio in decibels. If omnidirectional, for example a Hertzian dipole pattern, so state.

#### **A.4.2.4 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.4.2.5 Active antenna performance**

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

#### **A.4.2.6 Power handling**

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

#### **A.4.2.7 Other conditions**

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

### **A.4.3 Antenna calibration**

#### **A.4.3.1 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 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 place of the appliance being subjected to the radiation. Hence, no calibrations are required on the transmit antenna.

#### **A.4.3.2 Frequency interval**

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

#### **A.4.3.3 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.4.3.4 Correlation with preferred or specified antennas**

If the antenna is to be substituted for 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 to convert from the magnetic field intensity or vice versa or for any other conversion to a measurement unit other than a field strength quantity.

#### **A.4.3.5 Units**

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

#### **A.4.4 Antenna user information**

##### **A.4.4.1 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.4.4.2 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 appliance being measured.

## Annex B (normative)

### Monopole (1 m rod antenna) performance equations and characterization of the associated antenna matching network <sup>6)</sup>

#### 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.

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  $\pm 1$  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.

They are valid only for cylindrical rod antennas shorter than  $\lambda/8$  [8] <sup>7)</sup>.

$$h_e = \frac{\lambda}{2\pi} \tan \frac{\pi h}{\lambda} \quad [1], [2], [3] \quad (B.1)$$

$$C_a = \frac{55,6h}{\left(\ln \frac{2h}{a}\right) - 1} \frac{\tan \frac{2\pi h}{\lambda}}{\frac{2\pi h}{\lambda}} \quad [3], [4], [5], [6], [7], [8] \quad (B.2)$$

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

where

$h_e$  is the effective height of the antenna, in metres;

$h$  is the actual height of the rod element, in metres;

$\lambda$  is the wavelength, in metres;

<sup>6)</sup> This annex is based on IEEE 291-1991 (see Clause B.5).

<sup>7)</sup> Figures in square brackets refer to the reference documents cited in Clause B.5.

$C_a$  is the self-capacitance of the rod antenna, in picofarads;

$a$  is the radius of the rod element, in metres;

$C_h$  is the height correction factor, in dB(m).

## B.2 Matching network characterization method

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 ( $AF$ ) in dB(1/m) is given by Equation (B.4).

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

where

$V_D$  is the measured output of the signal generator, in dB( $\mu$ V);

$V_L$  is the measured output of the matching network, in dB( $\mu$ V);

$C_h$  is the height correction factor (for the effective height), in 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 dB(m) 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.2.1, the network analyser, or the method of B.2.2, 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.2.1 Network analyser procedure

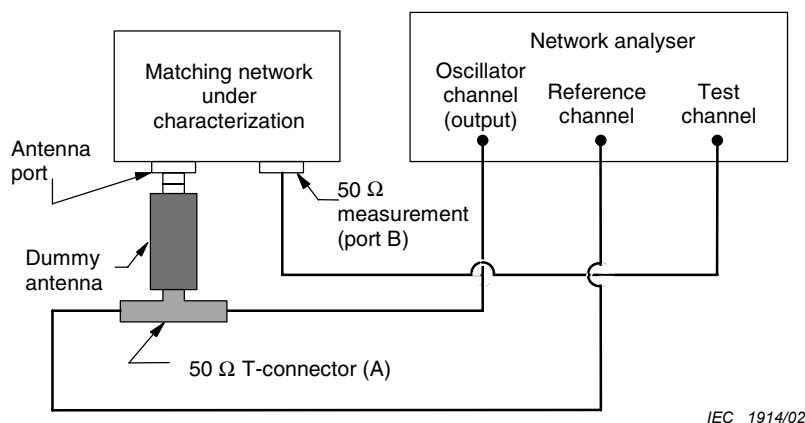
- Calibrate the network analyser with the cables to be used in the measurements.
- Set up the matching network to be characterized and the measuring equipment as shown in Figure B.1.
- Subtract the signal level (in dB( $\mu$ V)) in the test channel from the signal level (in dB( $\mu$ V)) in the reference channel and subtract  $C_h$  (–6 dB for the 1 m rod) to obtain the antenna factor (in dB(1/m)) of the antenna.

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

### B.2.2 Radio-noise meter and signal generator procedure

- 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  $\Omega$  termination on the T-connector (A), measure the received signal voltage  $V_L$  (in dB( $\mu$ V)) at the RF port (B).

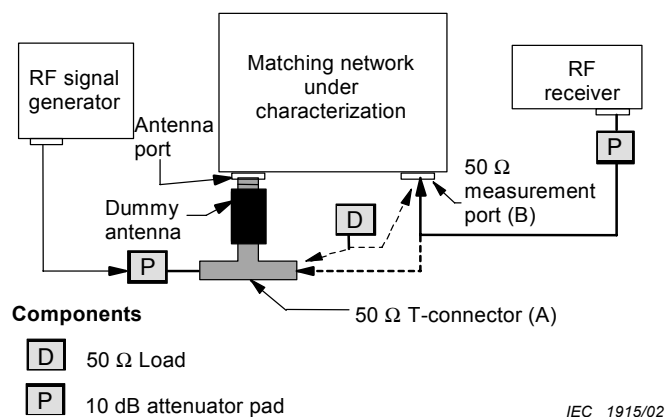
- c) Leaving the RF output of the signal generator unchanged, transfer the  $50\ \Omega$  termination to the RF port (B) and transfer the receiver input cable to the T-connector (A). Measure the drive signal voltage  $V_D$  (in dB( $\mu$ V)).
- d) Subtract  $V_L$  from  $V_D$  and subtract  $C_h$  (–6 dB for the 1 m rod) to obtain the antenna factor (in dB(1/m)) of the antenna.



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  $50\ \Omega$  measuring port test channel.

NOTE 2 Attenuator pads are not needed with the network analyser and are not recommended.

**Figure B.1 – Method using network analyser**



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 radio-noise meter and signal generator**

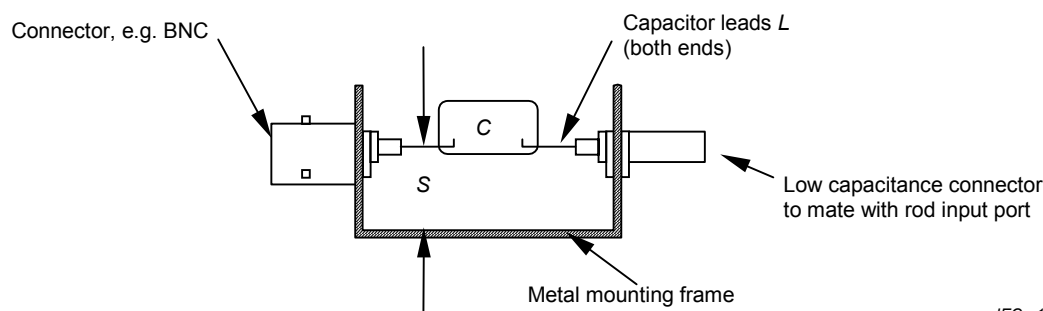
The 50  $\Omega$  termination shall have a very low standing-wave ratio (SWR) (less than 1,05:1). The radio-noise meter shall be calibrated and have a low SWR (less than 2:1). The output of the signal generator shall be frequency and amplitude stable.

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

### B.3 Dummy antenna considerations

The capacitor used as the dummy 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 mounting capacitor 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 groundplane. To obtain correct field strength values, the manufacturer's instructions or recommendations regarding the use of the counterpoise or groundplane should be followed.

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

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

## B.5 Reference documents

- [1] 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.
- [2] GREENE, FM. NBS Field-Strength Standards and Measurements (30 Hz to 1000 MHz). *Proc. IEEE*, No. 6, June 1967, vol. 55, p. 974-981.
- [3] SCHELKUNOFF, SA. and FRIIS, HT. *Antennas: Theory and Practice*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1952, p. 302-331.
- [4] SCHELKUNOFF, SA. Theory of Antennas of Arbitrary Size and Shape. *Proc of the IRE*, Sept. 1941, vol. 29, p. 493-592.
- [5] WOLFF, EA. *Antenna Analysis*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1966, p. 61.
- [6] 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.
- [7] KING, RWP., *Theory of Linear Antennas*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1956, p.16-17, 71, 184 and 487.
- [8] *The Radio Frequency Interference Meter* NAVSHIPS 94810, by The Staff of the Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, 1962, p. 36-38.

## Annex C (normative)

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

#### C.1 Introduction

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.

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 which 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  $\Omega$  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 $\Omega$ /m at 100 kHz and 1 m $\Omega$ /m at 10 MHz. This requirement is met when using, for example, double-braided shield RG 223/U coaxial cable.

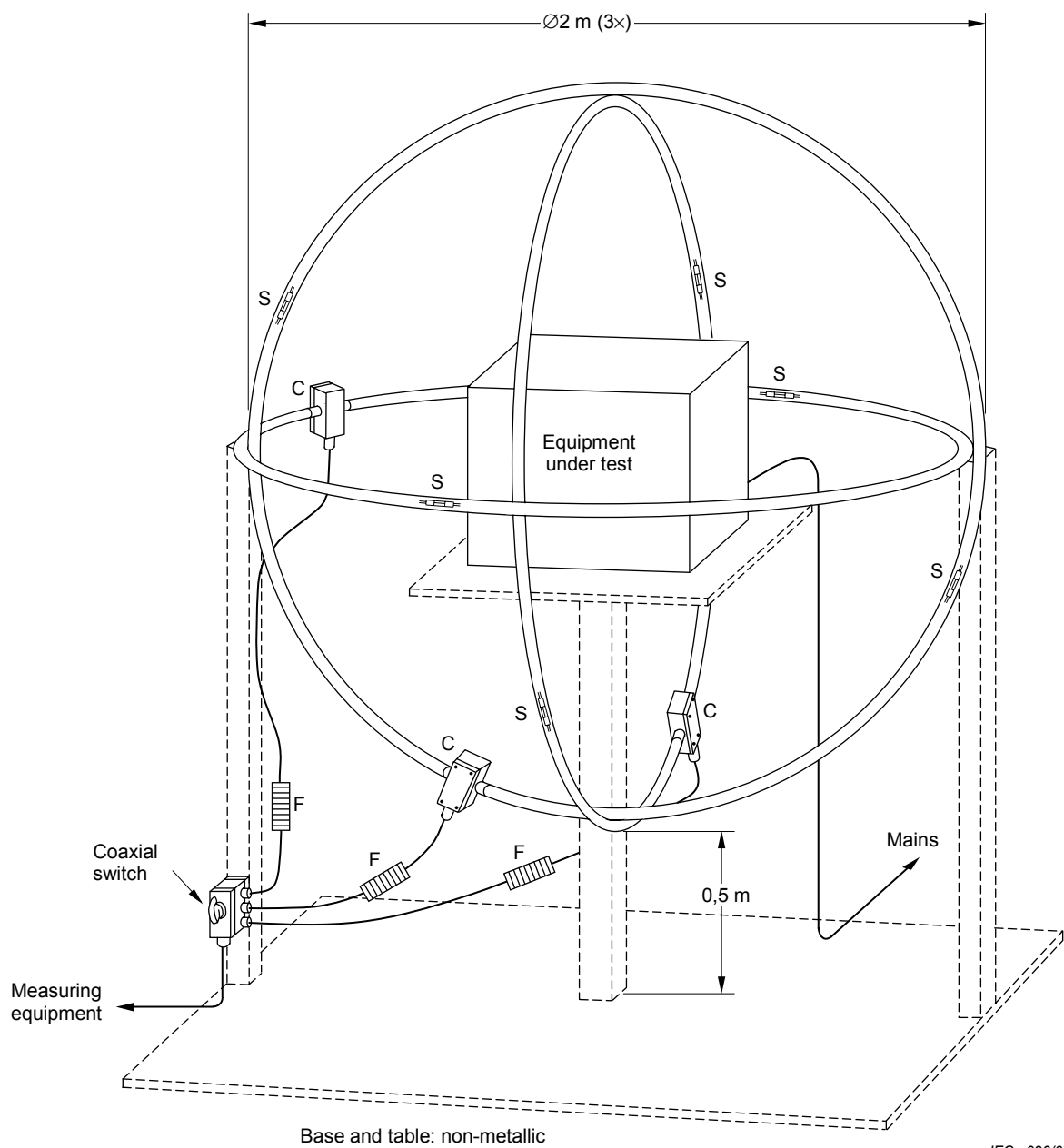
All connectors shall have a surface transfer impedance comparable with that of the coaxial cable. This requirement is met, for example, when using good quality BNC collet-lock type connectors (see IEC 60169-8\*).

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, 12 rings of type 3E1 from Ferroxcube (minimum size in millimetres: 29 O.D.  $\times$  19 I.D.  $\times$  7,5 Ht).

#### 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.

\* IEC 60169-8:1978, *Radio-frequency connectors – Part 8: RF coaxial connectors with inner diameter of outer conductor 6,5 mm (0,256 in) with bayonet lock – Characteristic impedance 50 ohms (Type BNC)*



IEC 096/07

### Components

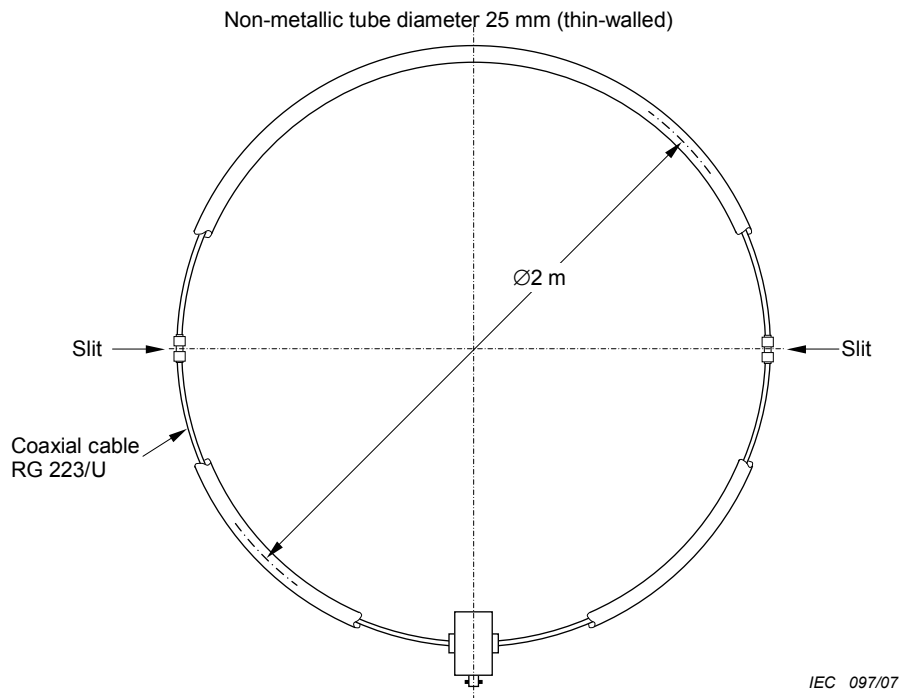
S: antenna slit

C: current probe

F: ferrite absorber

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

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.

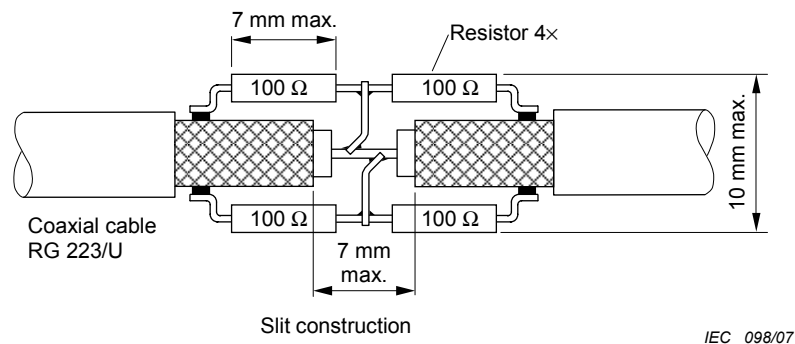


**Figure C.2 – A large-loop antenna containing two opposite slits, positioned symmetrically with respect to the current probe C**

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.

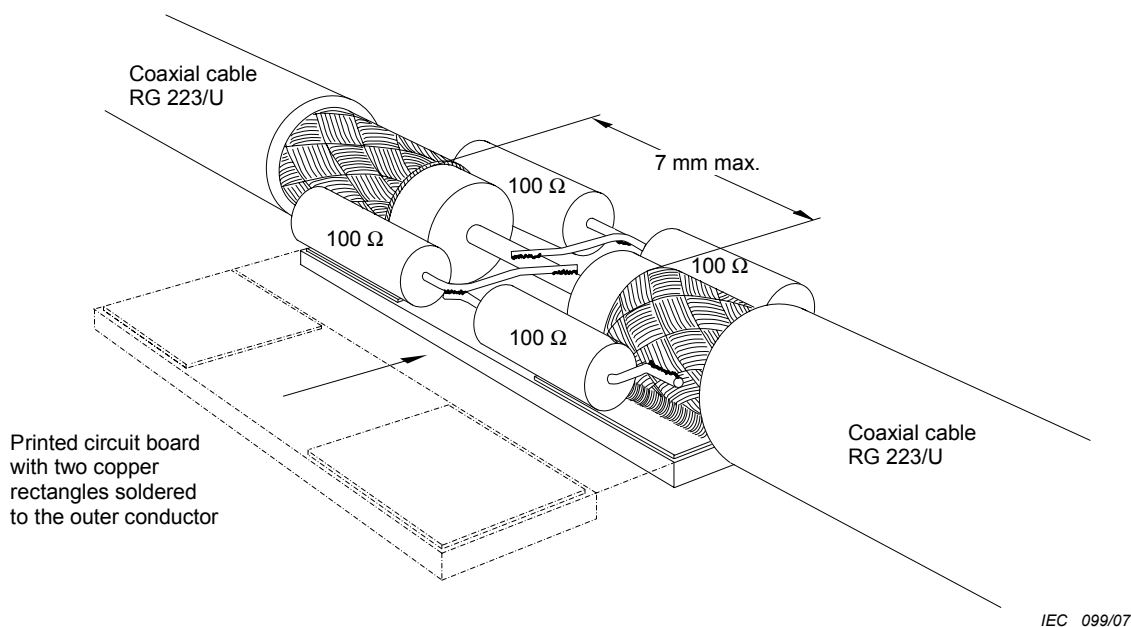
An LLA contains two opposite slits, positioned symmetrically with respect to the current probe of the LLA (see Figure C.2). Such a slit, made in the outer conductor of the coaxial antenna cable as shown in Figure C.3, shall have a width of less than 7 mm. The slit is bridged by two parallel sets of 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



IEC 098/07

**Figure C.3 – Construction of the antenna slit**

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).



IEC 099/07

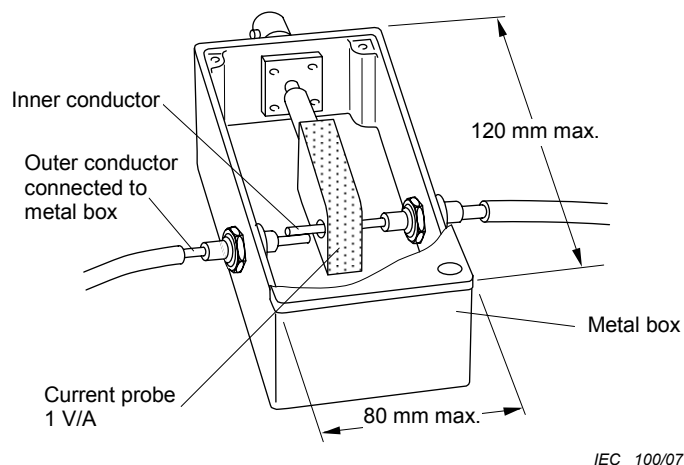
**Figure C.4 – Example of antenna-slit construction using a strap of printed circuit board to obtain a rigid construction**

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).

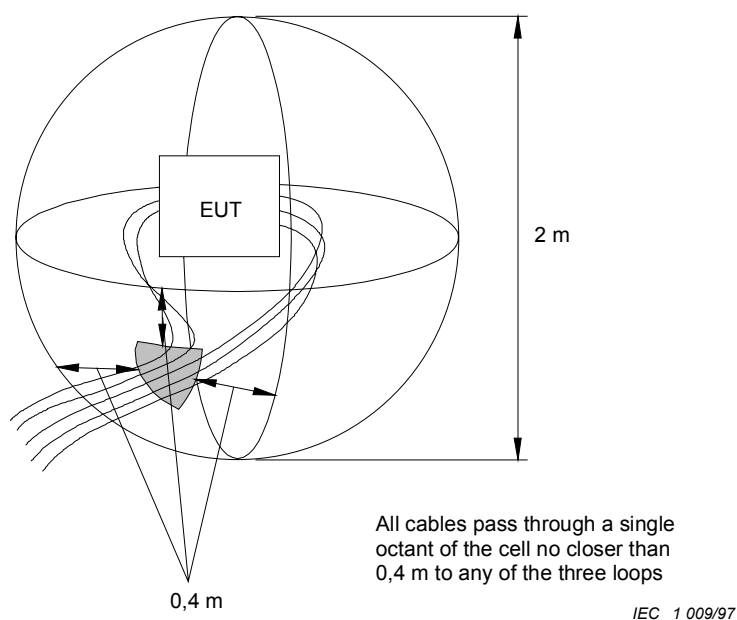
The outer conductor of that cable shall be bonded to the metal box containing the current probe (see Figure C.5). The maximum dimensions of this box are the following: width 80 mm, length 120 mm and height 80 mm.

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  $1,5 \mu\text{H/m}$  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 must 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**



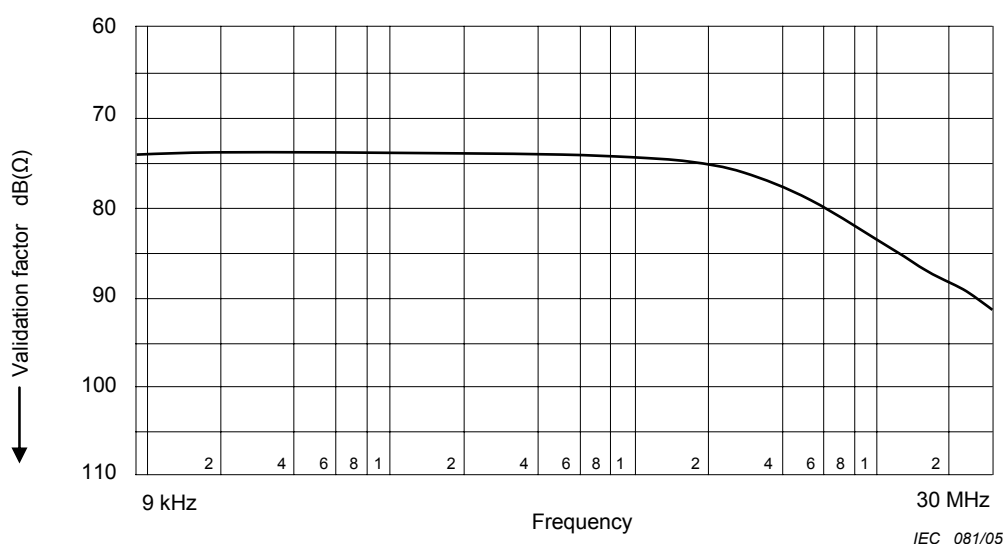
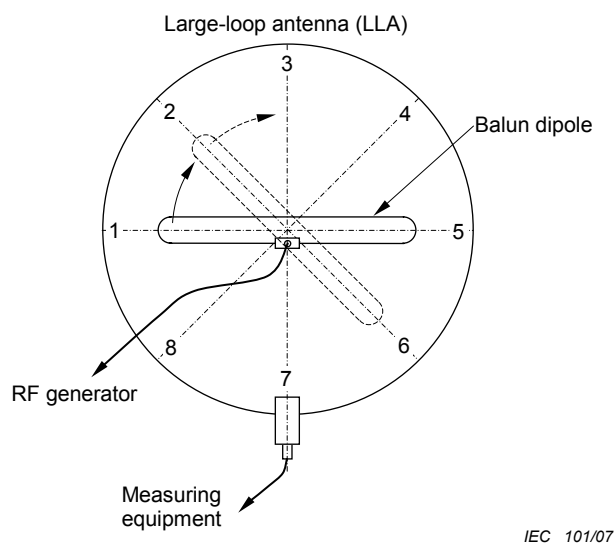
**Figure C.6 – Example showing the routing of several cables from an EUT to ensure that there is no capacitive coupling from the leads to the loop**

#### 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  $\Omega$  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 electric field emitted by the balun-dipole shows that the electric 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 8 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  $\text{dB}(\Omega) = 20 \log(V_{go}/I_l)$ ] of the open circuit voltage of the RF generator ( $V_{go}$ ) and the measured current ( $I_l$ ) shall not deviate more than  $\pm 2$  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  $D = 2$  m. If the diameter of a circular LLA differs from  $D = 2$  m, the validation factor for the non-standardized LLA can be derived from the data given in Figures C.8 and C.11 (Clause C.6).

### 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 electric field, which should be rejected by the LLA.

The balun-dipole is constructed from RG 223/U coaxial cable. It has a width  $W = 150$  cm and a height  $H = 10$  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.

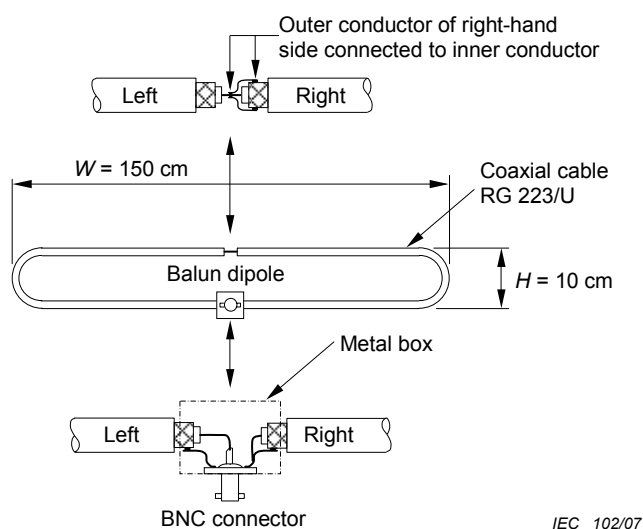
To obtain a rigid construction, the dipole is supported by a non-conductive base.

## C.6 Conversion factors

This clause deals with the factor which 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  $D = 2$  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 4.2, 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  $90^\circ$ , 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.



IEC 102/07

Figure C.9 – Construction of the balun-dipole

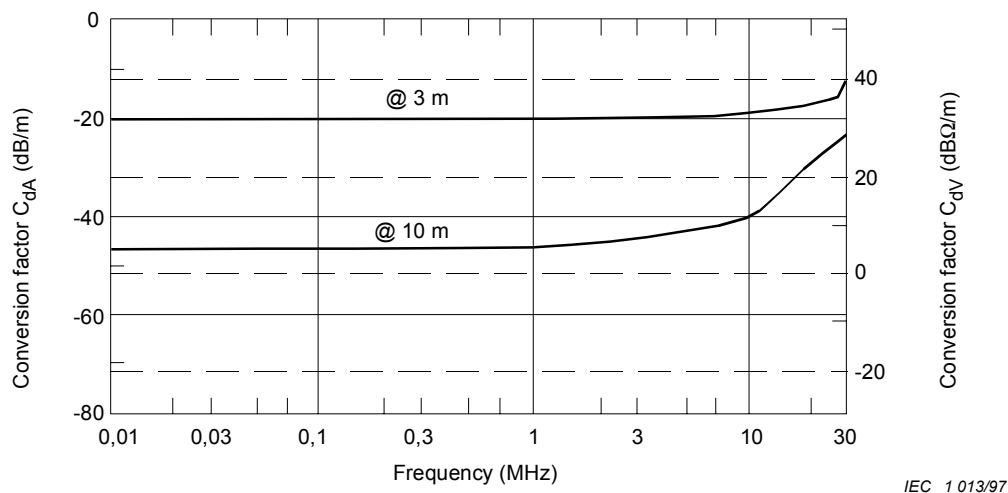


Figure C.10 – Conversion factors  $C_{dA}$  (for conversion into dB (μA/m)) and  $C_{dV}$  (for conversion into dB (μV/m)) for two standardized measuring distances  $d$

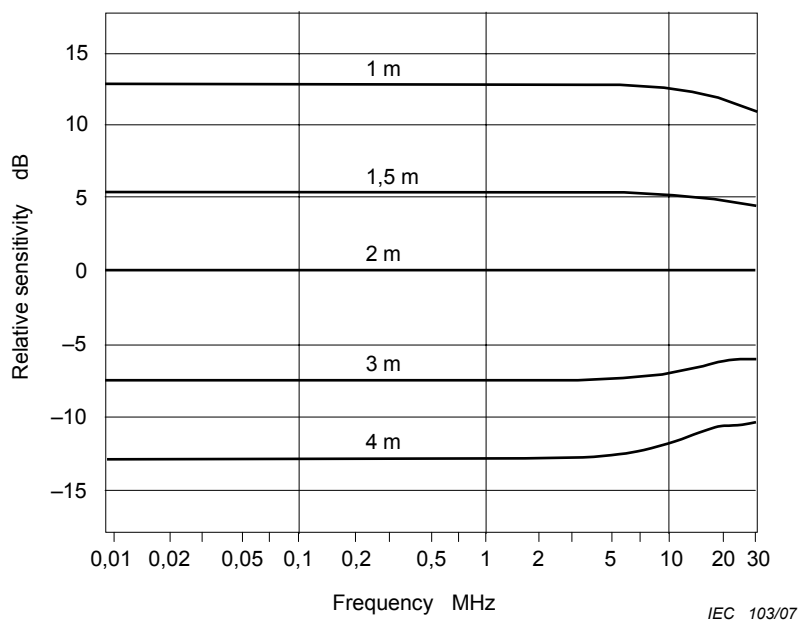


Figure C.11 – Sensitivity  $S_D$  of a large-loop antenna with diameter  $D$  relative to a large-loop antenna having a diameter of 2 m

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

$$H [\text{dB}(\mu\text{A/m})] = I [\text{dB}(\mu\text{A})] + C_{dA} (\text{dBm}^{-1})$$

where  $C_{dA}$  is the current-to-field conversion factor for a certain distance  $d$  when expressing  $H$  in dB(μA/m), see also the note after the following equation.

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  $D = 2$  m, are given in Figure C.11 for several values of  $D$ . Using this ratio, the equation given above can be written as:

$$H [\text{dB}(\mu\text{A/m})] = I [\text{dB}(\mu\text{A})] - S_D(\text{dB}) + C_{dA} (\text{dBm}^{-1})$$

NOTE For disturbance calculations, CISPR uses the magnetic field strength  $H$  in  $\text{dB}(\mu\text{A/m})$  instead of  $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ . In this context, the relation between  $H$  expressed in  $\text{dB}(\mu\text{A/m})$  and  $H$  expressed in  $\text{dB}(\mu\text{V/m})$  is given by:

$$H [\text{dB}(\mu\text{V/m})] = H [\text{dB}(\mu\text{A/m})] + 51,5 [\text{dB}(\Omega)]$$

For convenience, the conversion factor  $C_{dV}$  converting  $I [\text{dB}(\mu\text{A})]$  into  $H [\text{dB}(\mu\text{V/m})]$  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  $I = X$   $\text{dB}(\mu\text{A})$ .

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

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

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

- b) Given: measuring frequency  $f = 100$  kHz, loop diameter  $D = 4$  m, current in loop  $I = X$   $\text{dB}(\mu\text{A})$ .

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  $(73,5 - (-7,5)) = 81 \text{ dB}(\Omega)$ .

## C.7 Reference document

*A Large-Loop Antenna for Magnetic Field Measurements*, J.R. Bergervoet and H. Van Veen, Proceedings of the 8th International Zürich Symposium on EMC, pp 29-34, March 1989, ETH Zentrum - IKT, 8092 Zürich, Switzerland.

## **Annex D** (informative)

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

#### **D.1 General**

Subclauses 5.1 through 5.5 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 5.6.

#### **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 5.6 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.

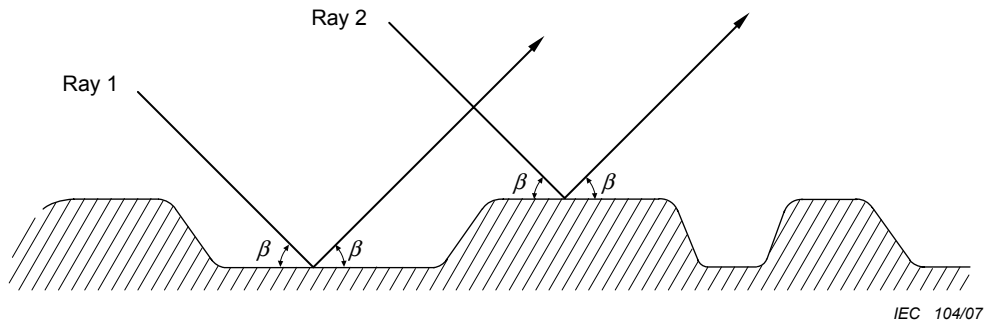


Figure D.1 – The Rayleigh criterion for roughness in the ground plane

| Measurement<br>distance $R$<br>m | Source<br>height, $h_1$<br>m | Maximum<br>receiving antenna<br>height, $h_2$<br>m | Maximum RMS<br>roughness<br>$b$ |                    |
|----------------------------------|------------------------------|----------------------------------------------------|---------------------------------|--------------------|
|                                  |                              |                                                    | In wavelengths                  | At 1 000 MHz<br>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 which 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 which 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 setup 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  $1\text{ m}$  and  $4\text{ m}$  for measurement distances of  $10\text{ m}$  and less, and between  $1\text{ m}$  and  $4\text{ m}$ , or between  $2\text{ m}$  and  $6\text{ m}$  for distances greater than  $10\text{ m}$ . 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  $1\text{ m}$  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  $1\,000\text{ MHz}$ .

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  $1\text{ m}$  or more to the rear of the receiving antenna (away from the EUT) before dropping to the ground plane. An antenna boom approximately  $1\text{ m}$  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 (Clause 5)

#### E.1 General

Subclause 5.6 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  $h_{2min}$  to  $h_{2max}$ , 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 (1), in 5.6.1.
- 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  $V_{\text{DIRECT}}$  in Equation (1), in 5.6.1.
- 6) At each frequency and for each polarization, enter the values in steps 3) and 5) in Equation (1), in 5.6.1.
- 7) Insert the transmit and receive antenna factors at the measurement frequency as shown in Equation (1).
- 8) Insert the mutual impedance correction factor  $\Delta AF_{\text{TOT}}$  from Table E.4 which applies only for the specific geometry of horizontal polarization using tunable dipoles separated by 3 m.  $\Delta AF_{\text{TOT}} = 0$  for all other geometries.
- 9) Solve Equation (1) 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  $\pm 4$  dB, the site is considered 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 is 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( $\mu$ 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,  $AF_T(\text{dB/m})$  and  $AF_R(\text{dB/m})$ , 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 NSA 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 NSA and the measured NSA shall fall within the  $\pm 4$  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  $\pm 4$  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  $\pm 4$  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\*. Manufacturer's antenna factors may not be sufficiently accurate to achieve good agreement between measured and calculated normalized site attenuations. 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.

---

\* A calibration procedure is under consideration.

Normally, the site attenuation is measured in a 50 Ω system, i.e. the signal generator and measuring receiver have an impedance of 50 Ω 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 Ω, i.e. the conversion factor for a without loss matching of the 50 Ω 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:

$$AF = 20 \log (2\pi/\lambda) + 10 \log (73/50) \quad (\text{dB}) \quad (\text{E.1})$$

$$= 20 \log f - 31,9 \quad (\text{dB}) \quad (\text{E.2})$$

where

$f$  is in MHz.

NOTE 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.2) becomes

$$AF = 20 \log f - 31,4 \quad (\text{dB}) \quad (\text{E.3})$$

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\***

(Recommended geometries for broadband antennas)

| Polarization<br>$R$ (m)<br>$h_1$ (m)<br>$h_2$ (m) | Horizontal<br>3<br>1<br>1 to 4 | Horizontal<br>10<br>1<br>1 to 4 | Horizontal<br>30<br>1<br>2 to 6 | Horizontal<br>30<br>1<br>1 to 4 | Vertical<br>3<br>1<br>1 to 4 | Vertical<br>10<br>1<br>1 to 4 | Vertical<br>30<br>1<br>2 to 6 | Vertical<br>30<br>1<br>1 to 4 |
|---------------------------------------------------|--------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|-------------------------------|
| $f_m$ (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                          |

\* 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)

| <b>Polarization</b><br><b>R (m)</b><br><b>h<sub>1</sub> (m)</b><br><b>h<sub>2</sub> (m)</b> | <b>Horizontal</b><br><b>3**</b><br><b>2</b><br><b>1 to 4</b> | <b>Horizontal</b><br><b>10</b><br><b>2</b><br><b>1 to 4</b> | <b>Horizontal</b><br><b>30</b><br><b>2</b><br><b>2 to 6</b> |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <b>f<sub>m</sub> (MHz)</b>                                                                  | <b>A<sub>N</sub> (dB)</b>                                    |                                                             |                                                             |
| 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                                                        |

\*\* 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)

| $f_m$<br>MHz | $R = 3 \text{ m}$<br>$h_1 = 2,75 \text{ m}$ |               | $R = 10 \text{ m}$<br>$h_1 = 2,75 \text{ m}$ |               | $R = 30 \text{ m}$<br>$h_1 = 2,75 \text{ m}$ |               |
|--------------|---------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------|---------------|
|              | $h_2$<br>(m)                                | $A_N$<br>(dB) | $h_2$<br>(m)                                 | $A_N$<br>(dB) | $h_2$<br>(m)                                 | $A_N$<br>(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**

| $\Delta AF_{TOT}$ – Total correction factor in decibels |                                                                                                            |                                                                                                        |
|---------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $f_m$<br><br>MHz                                        | Horizontal polarization<br>$R = 3 \text{ m}$<br>$h_1 = 2 \text{ m}$<br>$h_2 = 1 \text{ m to } 4 \text{ m}$ | Vertical polarization<br>$R = 3 \text{ m}$<br>$h_1 = 2,75 \text{ m}$<br>$h_2 = (\text{see Table E.3})$ |
| 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.

G.J. Burke and A.J. Poggio, *Numerical Electromagnetic Code – Method of Moments*, Lawrence Livermore Laboratory, California, January, 1981.

J.W. Rockway, J.C. Logan, D.W.S. Tam, S.T. Li, *The MININEC System: Microcomputer Analysis of Wire Antennas*, Artech House, Boston, 1988.

Berry, J.; Pate, B.; Knight: "Variations in Mutual Coupling Correction Factors for Resonant Dipoles Used In Site Attenuation Measurements", Proc IEEE Sym on EMC, Washington, DC, 1990.

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 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 (Clause 5)

#### F.1 General

This annex shows the basis for the acceptability criterion of  $\pm 4$  dB for the normalized site attenuation measurements required in 5.6.

#### F.2 Error analysis

The error analysis in Table F.1 applies to the normalized site attenuation measurement methods given in 5.6. The total estimated errors are the basis for the  $\pm 4$  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 method<br>dB | Sweep frequency method<br>dB |
| Antenna factor (Tx)*                                                 | $\pm 1$               | $\pm 1$                      |
| Antenna factor (Rx)*                                                 | $\pm 1$               | $\pm 1$                      |
| Voltmeter                                                            | 0                     | $\pm 1,6^{**}$               |
| Attenuator                                                           | $\pm 1$               | 0                            |
| Site imperfections                                                   | $\pm 1$               | $\pm 1$                      |
| Totals                                                               | $\pm 4$               | $\pm 4,6$                    |
| * At frequencies above 800 MHz, AF errors may approach $\pm 1,5$ dB. |                       |                              |
| ** From the operating instructions.                                  |                       |                              |

From the operating instructions for some automatic spectrum analyzers, 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  $\pm 4$  dB criterion for a well constructed and located site may actually allow more than  $\pm 1$  dB site anomaly variation from ideal.

## Bibliography

- [1] ZOMBOLAS, C. The effects of table material on radiated field strength measurement reproducibility at open area test sites. *IEEE Intl. Symp. Electromag. Compat.*, Montreal, Quebec, Canada, 2001, pp. 260-264.
  - [2] BEECKMAN, P. A. The influence of positioning tables on the results of radiated EMC measurements. *IEEE Intl. Symp. Electromag. Compat.*, Montreal, Quebec, Canada, 2001, pp. 280-285.
  - [3] 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))
  - [4] ETR 273-1-1:199x *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; Sub-clause 8.3.4.3: Antenna mast, turntable and mounting fixture*, ETSI Technical Report, European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, France.
-

## SOMMAIRE

|                                                                                                                                                                                                       |     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| AVANT-PROPOS .....                                                                                                                                                                                    | 106 |
| INTRODUCTION (à l'amendement 1) .....                                                                                                                                                                 | 108 |
| 1 Domaine d'application .....                                                                                                                                                                         | 109 |
| 2 Références normatives .....                                                                                                                                                                         | 109 |
| 3 Termes et définitions .....                                                                                                                                                                         | 110 |
| 4 Antennes pour la mesure des perturbations radioélectriques rayonnées .....                                                                                                                          | 113 |
| 4.1 Paramètres physiques pour les mesures des émissions rayonnées .....                                                                                                                               | 113 |
| 4.2 Gamme de fréquences de 9 kHz à 150 kHz .....                                                                                                                                                      | 113 |
| 4.3 Gamme de fréquences de 150 kHz à 30 MHz .....                                                                                                                                                     | 114 |
| 4.4 Bande de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz .....                                                                                                                                                   | 114 |
| 4.5 Gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz .....                                                                                                                                                       | 119 |
| 4.6 Montages utilisant les antennes particulières .....                                                                                                                                               | 119 |
| 5 Emplacements d'essai pour les mesures du champ perturbateur dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz .....                                                                                 | 120 |
| 5.1 Emplacement d'essai en espace libre .....                                                                                                                                                         | 120 |
| 5.2 Enceinte de protection contre les intempéries .....                                                                                                                                               | 120 |
| 5.3 Zone libre d'obstacles .....                                                                                                                                                                      | 120 |
| 5.4 Environnement radiofréquence ambiant d'un emplacement d'essai .....                                                                                                                               | 121 |
| 5.5 Plan de sol .....                                                                                                                                                                                 | 123 |
| 5.6 Procédure de validation des emplacements en espace libre .....                                                                                                                                    | 123 |
| 5.7 Aptitude des emplacements d'essai avec plan de sol .....                                                                                                                                          | 127 |
| 5.8 Aptitude des emplacements d'essai sans plan de sol .....                                                                                                                                          | 132 |
| 5.9 Evaluation de la table d'essai et du mât d'antenne .....                                                                                                                                          | 141 |
| 6 Chambre réverbérante pour la mesure de la puissance totale rayonnée .....                                                                                                                           | 143 |
| 6.1 Chambre .....                                                                                                                                                                                     | 143 |
| 7 Cellules TEM pour les mesures d'immunité aux perturbations rayonnées .....                                                                                                                          | 146 |
| 8 Emplacements d'essai pour la mesure des champs radioélectriques perturbateurs dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz .....                                                                   | 146 |
| 8.1 Emplacement d'essai de référence .....                                                                                                                                                            | 146 |
| 8.2 Validation de l'emplacement d'essai .....                                                                                                                                                         | 146 |
| 8.3 Autres emplacements d'essai possibles .....                                                                                                                                                       | 160 |
| 9 Dispositifs d'absorption de mode commun .....                                                                                                                                                       | 160 |
| 9.1 Généralités .....                                                                                                                                                                                 | 160 |
| 9.2 Mesures de paramètre-S de CMAD .....                                                                                                                                                              | 161 |
| 9.3 Montage d'essai CMAD .....                                                                                                                                                                        | 161 |
| 9.4 Méthode de mesure utilisant l'étalonnage TRL .....                                                                                                                                                | 161 |
| 9.5 Vérification de la performance (dégradation) des CMAD en utilisant un analyseur de spectre ( <i>spectrum analyser</i> – SA) et un générateur de poursuite ( <i>tracking generator</i> – TG) ..... | 163 |

|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Annexe A (normative) Paramètres des antennes .....                                                                                                                                                                                                                                                                              | 167 |
| Annexe B (normative) Equations donnant les caractéristiques du monopole (antenne fouet de 1 m) et caractérisation du réseau d'adaptation associé à l'antenne .....                                                                                                                                                              | 174 |
| Annexe C (normative) Système d'antennes cadres pour la mesure des courants induits par des champs magnétiques dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz .....                                                                                                                                                               | 179 |
| Annexe D (informative) Détails de construction des emplacements d'essai en espace libre dans la gamme de fréquences 30 MHz à 1 000 MHz (Article 5) .....                                                                                                                                                                        | 188 |
| Annexe E (normative) Procédure de validation de l'emplacement d'essai en espace libre pour la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz (Article 5) .....                                                                                                                                                                       | 192 |
| Annexe F (informative) Base pour le critère de 4 dB pour l'acceptabilité de l'emplacement (Article 5) .....                                                                                                                                                                                                                     | 200 |
| Bibliographie .....                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | 202 |
| Figure 20 – Représentation schématique du rayonnement de l'appareil en essai atteignant une antenne log-périodique à doublet directement et via des réflexions sur le sol sur un site de 3 m, présentant la moitié de l'ouverture de faisceau, $\phi$ , au niveau du rayon réfléchi .....                                       | 115 |
| Figure 2 – Zone libre d'obstacles d'un emplacement d'essai équipé d'une table tournante (voir 5.3) .....                                                                                                                                                                                                                        | 122 |
| Figure 3 – Zone libre d'obstacles avec appareil en essai fixe (voir 5.3) .....                                                                                                                                                                                                                                                  | 122 |
| Figure 4 – Configuration des équipements pour la mesure en polarisation horizontale de l'affaiblissement de l'emplacement (voir 5.6 et Annexe E) .....                                                                                                                                                                          | 124 |
| Figure 5 – Configuration des équipements pour la mesure en polarisation verticale de l'affaiblissement de l'emplacement avec des dipôles accordés (voir 5.6 et Annexe E) .....                                                                                                                                                  | 124 |
| Figure 6a – Positions typiques d'antenne pour les mesures d'ANE en polarisation verticale des sites d'essai choisis comme alternative .....                                                                                                                                                                                     | 129 |
| Figure 6b – Positions typiques d'antenne pour les mesures d'ANE en polarisation horizontale des sites d'essai choisis comme alternative .....                                                                                                                                                                                   | 129 |
| Figure 6c – Positions typiques d'antenne pour d'autres emplacements d'essai – Mesure d'ANE en polarisation verticale pour un appareil de volume inférieur à 1 m de profondeur, 1,5 m de large, 1,5 m de haut et dont la périphérie est à plus de 1 m du matériau le plus proche susceptible de provoquer des réflexions .....   | 130 |
| Figure 6d – Positions typiques d'antenne pour d'autres emplacements d'essai – Mesure d'ANE en polarisation horizontale pour un appareil de volume inférieur à 1 m de profondeur, 1,5 m de large, 1,5 m de haut et dont la périphérie est à plus de 1 m du matériau le plus proche susceptible de provoquer des réflexions ..... | 130 |
| Figure 6 – Positions typiques pour d'autres emplacements d'essai .....                                                                                                                                                                                                                                                          | 130 |
| Figure 7 – Graphique de l'ANE théorique en espace libre en fonction de la fréquence pour différentes distances de mesure (voir Equation 4) .....                                                                                                                                                                                | 133 |
| Figure 8 – Positions de mesure pour la procédure de validation de l'emplacement .....                                                                                                                                                                                                                                           | 136 |
| Figure 9 – Exemple d'une position de mesure et inclinaison d'antenne pour la procédure de validation de l'emplacement .....                                                                                                                                                                                                     | 137 |
| Figure 10 – Montage de mesure de la référence type d'emplacement en espace libre .....                                                                                                                                                                                                                                          | 140 |
| Figure 11 – Position de l'antenne par rapport au champ au-dessus d'une table d'essai rectangulaire (vue de dessus) .....                                                                                                                                                                                                        | 143 |
| Figure 12 – Position de l'antenne au-dessus de la table d'essai (vue de côté) .....                                                                                                                                                                                                                                             | 143 |
| Figure 13 – Exemple d'agitateur typique à aubes .....                                                                                                                                                                                                                                                                           | 144 |
| Figure 14 – Gamme de l'affaiblissement de couplage en fonction de la fréquence pour une chambre utilisant l'agitateur de la Figure 13 .....                                                                                                                                                                                     | 145 |

|                                                                                                                                                                                                     |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Figure 15 – Exemple de diagramme de rayonnement du plan E d'une antenne d'émission (à titre informatif uniquement).....                                                                             | 149 |
| Figure 16 – Exemple de diagramme de rayonnement du plan H d'une antenne d'émission (à titre informatif uniquement).....                                                                             | 150 |
| Figure 17 – Positions de mesure de $S_{VSWR}$ dans un plan horizontal – voir description en 8.2.2.2.1 .....                                                                                         | 151 |
| Figure 18 – Positions de $S_{VSWR}$ (exigences en hauteur) .....                                                                                                                                    | 153 |
| Figure 19 – Exigences relatives aux positions d'essai conditionnelles.....                                                                                                                          | 159 |
| Figure 21 – Définition des plans de référence à l'intérieur du montage d'essai.....                                                                                                                 | 164 |
| Figure 22 – Exemple de conception d'adaptateur 50 $\Omega$ dans le flasque vertical du montage .....                                                                                                | 164 |
| Figure 23 – Exemple d'un adaptateur d'impédance avec symétriseur ou transformateur .....                                                                                                            | 165 |
| Figure 24 – Exemple d'un adaptateur d'impédance avec réseau résistif.....                                                                                                                           | 165 |
| Figure 25 – Les quatre configurations pour l'étalonnage TRL.....                                                                                                                                    | 166 |
| Figure A.1 – Facteurs d'antenne des doublets courts pour $R_L = 50 \Omega$ (voir A.3.2.d) Note) .....                                                                                               | 170 |
| Figure B.1 – Méthode utilisant un analyseur de réseau .....                                                                                                                                         | 176 |
| Figure B.2 – Méthode utilisant un appareil de mesure de bruit RF et un générateur de signal.....                                                                                                    | 176 |
| Figure B.3 – Exemple du montage du condensateur pour une antenne fictive .....                                                                                                                      | 177 |
| Figure C.1 – Système d'antennes cadres, constitué de trois antennes de grand diamètre, occupant des plans mutuellement perpendiculaires .....                                                       | 180 |
| Figure C.2 – Une antenne de grand diamètre, comportant deux fentes diamétralement opposées, placées à égale distance de la sonde de courant C.....                                                  | 181 |
| Figure C.3 – Construction de la fente d'une antenne .....                                                                                                                                           | 182 |
| Figure C.4 – Exemple de construction de fente dont la rigidité est assurée par une plaquette de circuit imprimé .....                                                                               | 182 |
| Figure C.5 – Construction du boîtier métallique renfermant la sonde de courant .....                                                                                                                | 183 |
| Figure C.6 – Exemple montrant le cheminement de plusieurs câbles de l'appareil en essai afin de s'assurer qu'il n'y a pas de couplage capacitif entre ces câbles et les antennes cadres .....       | 183 |
| Figure C.7 – Les huit positions du dipôle symétrique/dissymétrique pendant la validation de l'antenne cadre de grand diamètre .....                                                                 | 184 |
| Figure C.8 – Facteur de validation d'une antenne cadre de 2 m de diamètre.....                                                                                                                      | 184 |
| Figure C.9 – Construction du dipôle symétrique/dissymétrique .....                                                                                                                                  | 185 |
| 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 les deux distances de mesure normalisées $d$ ..... | 186 |
| Figure C.11 – Sensibilité $S_D$ d'une antenne cadre de diamètre $D$ par rapport à une antenne cadre de 2 m de diamètre.....                                                                         | 186 |
| Figure D.1 – Critère de Rayleigh pour la rugosité du plan de sol.....                                                                                                                               | 189 |

|                                                                                                                                                           |     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| Tableau 1 – Affaiblissement normalisé de l'emplacement (géométries recommandées pour les doublets demi-onde accordés avec polarisation horizontale) ..... | 131 |
| Tableau 2 – Affaiblissement normalisé de l'emplacement* (géométries recommandées pour les antennes à large bande).....                                    | 132 |
| Tableau 3 – Dimensions maximales du volume d'essai par rapport à la distance d'essai.....                                                                 | 135 |
| Tableau 4 – Gammes de fréquences et tailles de pas .....                                                                                                  | 138 |
| Tableau 5 – Positions d'essai de $S_{VSWR}$ .....                                                                                                         | 154 |
| Tableau 6 – Exigences sur les rapports de $S_{VSWR}$ .....                                                                                                | 160 |
| Tableau E.1 – Affaiblissement normalisé de l'emplacement* (Géométries conseillées pour les antennes à large bande).....                                   | 196 |
| Tableau E.2 – Affaiblissement normalisé de l'emplacement (Géométries conseillées pour les doublets demi-onde accordés, à polarisation horizontale).....   | 197 |
| Tableau E.3 – Affaiblissement normalisé de l'emplacement (Géométries conseillées pour les doublets demi-onde accordés, à polarisation verticale).....     | 198 |
| Tableau E.4 – Facteurs de correction de couplage mutuel pour la géométrie utilisant des doublets résonnants accordables séparés de 3 m .....              | 199 |
| Tableau F.1 – Bilan d'erreur.....                                                                                                                         | 200 |

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 –  
Matériels auxiliaires – 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 n'a prévu aucune procédure de marquage valant indication d'approbation et n'engage pas sa responsabilité pour les équipements déclarés conformes à une de ses Publications.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

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

Le document CISPR/A/710/FDIS, circulé comme amendement 3 auprès des Comités nationaux de la CEI, a conduit à la publication de la nouvelle édition.

Cette version consolidée de la CISPR 16-1-4 comprend la deuxième édition (2007) [documents CISPR/A/710/FDIS et CISPR/A/722/RVD] et son amendement 1 (2007) [documents CISPR/A/750/FDIS et CISPR/A/760/RVD].

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

Elle porte le numéro d'édition 2.1.

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

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

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.

La CISPR 16-1 est constituée des cinq parties suivantes, sous le titre général *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques*:

- Partie 1-1: Appareils de mesure,
- Partie 1-2: Matériels auxiliaires – Perturbations conduites,
- Partie 1-3: Matériels auxiliaires – Puissance perturbatrice,
- Partie 1-4: Matériels auxiliaires – Perturbations rayonnées,
- Partie 1-5: Emplacements d'essai pour l'étalonnage des antennes de 30 MHz à 1 000 MHz.

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

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

## INTRODUCTION

(à l'amendement 1)

Dans cet amendement, l'utilisation d'une antenne constituée par un doublet symétrique (doublet accordé du CISPR) comme référence physique pour les mesures des émissions rayonnées dans la gamme de fréquences entre 30 MHz et 300 MHz est supprimée. A la place, il est exigé que dans cette gamme de fréquences, la grandeur à mesurer soit le champ électrique qui peut être déterminé en utilisant différents types d'antennes, sous réserve que le facteur d'antenne et l'incertitude associée soient connus.

Cette modification fondamentale de la grandeur à mesurer dans la gamme de fréquences comprise entre 30 MHz et 300 MHz a fait l'objet de recherches et de discussions approfondies au sein du CISPR A et aligne cette grandeur avec la grandeur à mesurer qui s'applique déjà pour le reste de la gamme de fréquences entre 9 kHz et 1 GHz et en fait au-delà de 1 GHz. La décision de procéder à cette modification est justifiée par les résultats obtenus à un questionnaire. Des informations plus détaillées sur la justification de la décision consistant à introduire la grandeur à mesurer 'champ électrique' à la place des doublets de référence du CISPR sont données dans le rapport du cycle de maintenance du CISPR, CISPR/A/541/MCR.

Le document CISPR/A/541/MCR explique qu'il n'y a plus besoin de doublet de référence CISPR compte tenu des améliorations intervenues dans l'étalonnage des antennes utilisées pour les essais de conformité de CEM et de la mise en œuvre croissante de systèmes qualité dans les laboratoires d'essai et d'étalonnage conformes à l'ISO 17025. En outre, l'Article 4 de la CISPR 16-1-4 couvre la gamme de fréquences entre 9 kHz et 1 GHz et une antenne de référence est spécifiée uniquement pour la gamme de 30 MHz à 300 MHz, ce qui semble faire de cette gamme de fréquences une exception à la règle générale.

En d'autres termes, la plupart des mesures de grandeurs physiques sont réalisées avec un appareil se référant à des normes nationales. Il n'est pas nécessaire que la mesure du champ électrique dans la gamme de fréquences entre 30 MHz et 300 MHz ne suive pas ce même principe, en particulier lorsque l'application d'une telle antenne de référence physique peut générer une incertitude plus importante pour la grandeur à mesurer prévue qu'une antenne à large bande étalonnée en suivant les règles normales. En outre, à l'heure actuelle, le doublet de référence CISPR est rarement utilisé en pratique car il est mal adapté du point de vue opérationnel (trop long à mettre en œuvre). La nouvelle grandeur à mesurer est le champ électrique tel qu'il est défini par le niveau limite en dB $\mu$ V/m et comme exigé par la méthode de mesure. Si plusieurs opérateurs suivent la même méthode de mesure, mettant en œuvre des antennes étalonnées, un degré élevé de reproductibilité est assuré.

Une des conséquences de l'utilisation d'une antenne constituée d'un doublet accordé comme référence est que les incertitudes de l'antenne dans le CISPR 16-4-2 exigent que le champ mesuré par une antenne à large bande fasse référence à la valeur qui aurait été mesurée en utilisant un doublet accordé. Les ramifications dépendraient de la différence des diagrammes de rayonnement et du couplage mutuel d'un doublet comparé à une antenne à large bande (y compris la dépendance par rapport à la hauteur du facteur d'antenne). Cette pratique peut réellement donner des incertitudes de mesure CEM plus élevées que dans le cas du champ obtenu avec l'antenne à large bande étalonnée dans le respect de la traçabilité. La relation du comportement de l'antenne à large bande habituellement utilisée avec le doublet accordé très rarement utilisé dans les notes sur le budget d'incertitude de la CISPR 16-4-2 exige une connaissance de spécialiste pour être comprise.

# SPÉCIFICATIONS DES MÉTHODES ET DES APPAREILS DE MESURE DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES ET DE L'IMMUNITÉ AUX PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES –

## Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Matériels auxiliaires – Perturbations rayonnées

### 1 Domaine d'application

La présente partie de la CISPR 16 est une norme fondamentale qui 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 matériels auxiliaires suivants: antenne et emplacement d'essai, cellules TEM et chambre réverbérante.

Il faut que les exigences de cette publication soient satisfaites à toutes les fréquences et à tous niveaux de perturbation radioélectrique 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 16-2-3, *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 16-3, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 3: CISPR technical reports*

CISPR 16-4 (toutes les parties), *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Incertitudes, statistiques et modélisation des limites*

CISPR 16-4-2:2003, *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*

### 3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions suivants sont applicables. Voir également les définitions de la CEI 60050(161).

#### 3.1

##### **bande passante**

$B_n$

largeur de la courbe de sélectivité globale du récepteur entre deux points situés à un niveau déterminé en dessous de la réponse en milieu de bande

NOTE La bande passante est représentée par le symbole  $B_n$ , où  $n$  est le niveau exprimé en décibels.

#### 3.2

##### **plage de lecture du CISPR**

plage spécifiée par le fabricant, donnant les indications maximale et minimale de l'appareil de mesure, dans laquelle le récepteur satisfait aux exigences de la présente partie de la CISPR 16

#### 3.3

##### **emplacement d'essai pour l'étalonnage**

**CALTS**

emplacement d'essai en champ libre avec un plan de sol métallique et un affaiblissement d'emplacement en polarisation horizontale et verticale du 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.

#### 3.4

##### **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

#### 3.5

##### **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 et l'antenne hybride.

#### 3.6

##### **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

#### 3.7

##### **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».

**3.8****affaiblissement de site**

affaiblissement de site minimal mesuré 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

**3.9****affaiblissement d'insertion de site**

affaiblissement entre une paire d'antennes placées à des positions spécifiées sur un site 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

**3.10****antenne filaire**

structure spécifiée constituée d'un ou plusieurs fils ou tringles métalliques destinée à émettre ou recevoir des ondes électromagnétiques

NOTE Une antenne filaire ne contient pas de symétriseur.

**3.11****enceinte complètement anéchoïque****FAR**

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

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

installation pour les mesures d'émissions rayonnées, ou pour l'étalonnage d'antenne destiné 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 considérées

**3.13****volume d'essai**

volume à l'intérieur de la FAR dans lequel l'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.

**3.14****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 uniforme

**3.15****antenne hybride**

antenne log-périodique à doublet conventionnelle à élément filaire 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 l'antenne log-périodique à doublet 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

**3.16****antenne à faible incertitude**

antenne biconique ou log-périodique robuste de bonne qualité, dont le facteur d'antenne est reproductible avec une valeur 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 détails en A.2.2.

### 3.17

#### **chambre semi-anéchoïque semi-anechoic chamber – SAC**

enceinte blindée dans laquelle cinq des six surfaces internes sont recouvertes d'un matériau absorbant l'énergie radioélectrique (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 sites en champ libre (OATS)

### 3.18

#### **dispositif d'absorption en mode commun** (*common mode absorption device – CMAD*) **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

### 3.19

#### **perte d'insertion**

perte due à l'insertion d'un dispositif dans une ligne de transmission, exprimée comme le rapport des tensions mesurées au point d'insertion d'un matériel en essai, avant et après l'insertion de celui-ci. Elle est égale à l'inverse du paramètre-S de transmission,  $|1/S_{21}|$

### 3.20

#### **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  $S_{11}$

### 3.21

#### **méthode d'étalonnage “short-open-load-through” (SOLT) ou “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  $\Omega$  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

### 3.22

#### **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

### 3.23

#### **étalonnage “through-reflect-line” (TRL)**

méthode d'étalonnage pour un analyseur de réseau vectoriel (VNA) utilisant trois références d'impédance connues “de transmission”, “de réflexion” et “de ligne” pour l'étalonnage interne ou externe du VNA. Quatre mesures de référence sont nécessaires pour cet étalonnage

### 3.24

#### **analyseur de réseau vectoriel**

##### **VNA** (*vector network analyser*)

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

## 4 Antennes pour la mesure des perturbations radioélectriques rayonnées

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 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 chambre totalement anéchoïque (FAR) peut être réglable pour répondre à une procédure d'essai spécifique.

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

### 4.1 Paramètres physiques 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. De manière plus spécifique, pour les mesures dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz sur un site en champ libre (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'appareil en essai, tandis que cet appareil subit une rotation selon tous les angles du plan azimutal.

L'erreur sur la mesure d'un champ sinusoïdal uniforme ne doit pas dépasser  $\pm 3$  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.

### 4.2 Gamme de fréquences de 9 kHz à 150 kHz

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

#### 4.2.1 Antenne magnétique

Pour la mesure de la composante magnétique du rayonnement, on peut utiliser soit un cadre blindé 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 la composante magnétique du champ est le  $\mu\text{A/m}$  ou, en unité logarithmique,  $20 \log(\mu\text{A/m}) = \text{dB}(\mu\text{A/m})$ . 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  $\mu\text{A/m}$  ou en  $\text{dB}(\mu\text{A/m})$  dans toutes les conditions, c'est-à-dire en champ proche ou en champ lointain. Toutefois, de nombreux récepteurs de mesure du champ sont étalonnés en termes de champ électrique équivalent pour une onde plane en  $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ , c'est-à-dire en considérant que le rapport des composantes  $E$  et  $H$  est de  $120 \pi$  ou  $377 \Omega$ .

Pour obtenir la valeur de  $H$  ( $\mu\text{A/m}$ ), la lecture  $E$  ( $\mu\text{V/m}$ ) est divisée par  $377 \Omega$ :

$$H (\mu\text{A/m}) = E (\mu\text{V/m}) / 377 \Omega \quad (1)$$

pour obtenir la valeur de  $H$   $\text{dB}(\mu\text{A/m})$ , on soustrait à la lecture de  $E$   $\text{dB}(\mu\text{V/m})$   $51,5 \text{ dB}(\Omega)$ :

$$H \text{ dB}(\mu\text{A/m}) = E \text{ dB}(\mu\text{V/m}) - 51,5 \text{ dB}(\Omega) \quad (2)$$

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

#### 4.2.2 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.

### 4.3 Gamme de fréquences de 150 kHz à 30 MHz

#### 4.3.1 Antenne électrique

Pour la mesure de la composante électrique du champ, on peut utiliser soit une antenne symétrique soit une antenne dissymétrique. Dans ce dernier cas, la mesure se rapporte uniquement à l'effet du champ électrique sur une antenne fouet disposée verticalement. Le type d'antenne utilisé doit être indiqué en même temps que le résultat des mesures.

Les informations relatives au calcul des caractéristiques d'une antenne monopole (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 ECSM (Equivalent Capacitor Substitution Method) présente des incertitudes plus élevées pour les longueurs unipolaires supérieures à un huitième d'une longueur d'onde.

L'unité de la composante électrique du champ doit être le  $\mu\text{V/m}$  ou, en unité logarithmique,  $20 \log(\mu\text{V/m}) = \text{dB}(\mu\text{V/m})$ . La limite d'émission associée doit être exprimée dans les mêmes unités.

#### 4.3.2 Antenne magnétique

Pour la mesure de la composante magnétique du rayonnement, on doit utiliser le cadre blindé électriquement décrit en 4.2.1.

Les antennes cadre accordées, électriquement symétriques, peuvent être utilisées pour effectuer des mesures à des champs plus faibles que les antennes cadre non accordées, électriquement blindées.

#### 4.3.3 Réponse en polarisation croisée de l'antenne

Si une antenne électrique symétrique est utilisée, elle doit être conforme aux exigences du 4.4.3. Si une antenne magnétique symétrique est utilisée, elle doit être conforme aux exigences du 4.2.2.

### 4.4 Bande de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz

Dans cette gamme de fréquences, les mesures concernent le champ électrique, c'est pourquoi les antennes magnétiques ne sont pas incluses. L'antenne doit être une antenne analogue à un doublet conçue pour mesurer le champ électrique. On peut y inclure les doublets accordés, dont les paires d'éléments sont soit des fouets droits soit de forme conique et les doublets réseau comme les antennes log-périodique à doublet, comprenant une série de jeux échelonnés d'éléments de fouet droits et des antennes hybrides.

#### 4.4.1 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 log-périodique à doublet est préférable, en particulier à celle mesurée par des antennes hybrides. Les antennes types biconiques et log-périodiques à doublet sont définies dans l'Annexe A et seules les antennes étalonnées doivent être utilisées.

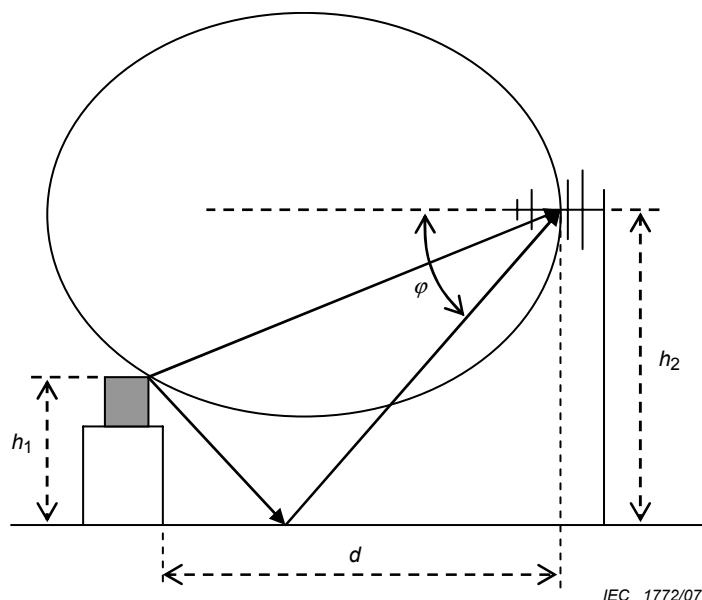
NOTE 1 Des incertitudes améliorées sont obtenues en utilisant l'antenne biconique dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 250 MHz et l'antenne log-périodique à doublet dans la gamme de fréquences de 250 MHz à 1 GHz. Sinon, une fréquence de transfert de 200 MHz peut être utilisée mais les incertitudes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

NOTE 2 L'incertitude de mesure des émissions rayonnées provenant de l'appareil en essai 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, qui devrait donner la même valeur de champ E dans les limites d'une marge de  $\pm 1$  dB.

#### 4.4.2 Caractéristiques d'antenne

Puisque, pour les fréquences de la bande 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 satisfaire aux exigences suivantes.

- L'antenne doit être polarisée linéairement, ce qui doit être contrôlé en appliquant la procédure d'essai de polarisation croisée du 4.4.4.
- 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 du 4.4.3. Ceci s'applique aussi aux antennes hybrides en dessous de 200 MHz.
- On prendra comme hypothèse un site d'essai avec un plan de sol. 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'appareil en essai (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 l'ouverture de faisceau,  $2\varphi$ , voir la Figure 20.



**Figure 20 – Représentation schématique du rayonnement de l'appareil en essai atteignant une antenne log-périodique à doublet directement et via des réflexions sur le sol sur un site de 3 m, présentant la moitié de l'ouverture de faisceau,  $\varphi$ , au niveau du rayon réfléchi**

Les conditions pour s'assurer que cette erreur n'est pas supérieure à +1dB sont données ci-dessous au 1) pour un site de 10 m et au 2) pour un site de 3 m. En variante, une condition fondée sur le gain d'antenne est donnée dans le 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 suivant 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.

- 1) Pour un site en champ libre (OATS) de 10 m ou une Chambre semi-anéchoïque (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  $2\varphi$  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:

$$\varphi > \tan^{-1} [(h_1 + h_2)/d]$$

- 2) Pour des sites offrant une distance de mesure inférieure à 10 m, l'ouverture totale du faisceau vertical  $2\varphi$  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:

$$2\varphi > \tan^{-1} [(h_1 + h_2)/d] - \tan^{-1} [(h_1 - h_2)/d]$$

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 l'appareil 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 sous-estimation du signal reçu doit être calculée, voir la Note, à partir des diagrammes de rayonnement et appliquée comme correction ou comme incertitude de directivité. Les exemples de budgets 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 sous-estimation 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 utilisés pour les essais d'émissions rayonnées, telles que les antennes biconiques, log-périodiques à doublet et hybrides, l'ouverture de faisceau est inversement liée à la directivité de l'antenne. Une variante au critère fondé sur les ouvertures de faisceau en 1) et 2) ci-dessus, 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 budget d'incertitudes pour un essai d'émissions. Les incertitudes génériques, fondées sur les ouvertures de faisceaux les plus étroites dans la plage de fréquences utilisée pour une antenne donnée, figurent dans la CISPR 16-4-2. Le gain isotropique maximal d'antenne pour des antennes biconiques doit être de 2 dB, et doit être de 8 dB pour les antennes log-périodiques à doublet (LPDA) et les antennes hybrides. Pour les types d'antennes LPDA en V, dont l'ouverture de faisceau en plan H est rendue égale à l'ouverture de faisceau en plan E, le gain isotropique admissible maximal doit être de 9 dB.

NOTE 3 Les incertitudes de directivité données dans la CISPR 16-4-2 (2004) peuvent être utilisées pour une séparation de 10 m, mais des incertitudes révisées sont nécessaires pour une séparation de 3 m.

- d) Le facteur d'adaptation 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.

#### **4.4.3 Symétrisation de l'antenne**

##### **4.4.3.1 Introduction**

Dans les mesures des émissions rayonnées, des courants de mode commun peuvent exister sur le câble relié à l'antenne de réception (le câble d'antenne). A leur tour, ces courants de mode commun créent des champs électromagnétiques qui peuvent être captés par l'antenne de réception. Les résultats de mesure peuvent de ce fait être influencés.

Les contributions majeures aux courants de mode commun dans le câble d'antenne proviennent

- a) du champ électrique produit par l'appareil en essai, si ce champ a une composante parallèle au câble d'antenne, et
- b) de la conversion du mode différentiel du signal d'antenne (signal utile) en un signal de mode commun du fait de l'imperfection du symétriseur de l'antenne de réception.

En général, les antennes dipôle log-périodique réseau ne présentent pas une conversion de mode différentiel en mode commun significative et les vérifications qui suivent s'appliquent aux dipôles, aux antennes biconiques et aux antennes hybrides biconiques/log.

##### **4.4.3.2 Vérification de la conversion de mode différentiel en mode commun du symétriseur**

La méthode suivante décrit la mesure de deux tensions,  $U_1$  et  $U_2$ , dans la bande de fréquences pour laquelle l'antenne de réception est utilisée. Le rapport de ces tensions, exprimées dans la même unité (par exemple en dB), est une mesure de la conversion de mode différentiel en mode commun.

- 1) 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. Placer le câble horizontalement sur  $1,5 \text{ m} \pm 0,1 \text{ m}$  derrière l'élément actif de l'antenne, puis verticalement sur une hauteur d'au moins 1,5 m jusqu'au plan de sol.
- 2) Placer une seconde antenne (d'émission) en polarisation verticale à une distance de 10 m du centre de l'antenne en essai avec sa pointe à 0,10 m du plan de sol. Si la plage de l'emplacement utilisé pour les essais 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 modification de moins  $\pm 0,5 \text{ dB}$ , 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.
- 3) Connecter une source de signal à l'antenne d'émission, par exemple un générateur à poursuite, régler le niveau du générateur de telle sorte que, dans gamme de fréquences concernée, le rapport signal à bruit ambiant au niveau du récepteur soit supérieur à 10 dB.
- 4) Enregistrer la tension  $U_1$  au niveau du récepteur dans la gamme de fréquences concernée.
- 5) Retourner l'antenne de réception (tourner l'antenne de  $180^\circ$ ) 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.
- 6) Enregistrer la tension  $U_2$  au niveau du récepteur sur la gamme de fréquences.

- 7) La conversion mode différentiel / mode commun est suffisamment faible si  $|20 \log (U_1/U_2)| < 1$  dB.

NOTE 1 Si le critère de conversion mode différentiel / mode commun n'est pas respecté, des anneaux de ferrite autour du câble peuvent réduire la conversion mode différentiel / mode commun. L'ajout de ferrite peut également être utilisé pour vérifier si la contribution a) 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 doit être utilisée dans une chambre entièrement anéchoïque, la vérification du rapport mode différentiel / mode commun peut être effectué 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 faut que la chambre satisfasse au critère des  $\pm 4$  dB.

NOTE 3 Il convient que l'emplacement d'essai avec plan de sol ou la chambre entièrement anéchoïque soit conforme aux exigences d'ANE (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 conservée comme 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 son effet est largement dû à l'interaction entre l'antenne et la partie du câble parallèle aux éléments de l'antenne. Les effets dépendant de l'uniformité du champ incident sur l'antenne dans les installations d'essai CEM sur un emplacement d'essai en espace libre ou dans une chambre entièrement anéchoïque 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.

#### 4.4.4 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 de 20 dB inférieure à celle en co-polarisation. Cet essai s'applique aux antennes dipôle log-périodique réseau pour lesquelles les deux moitiés de chaque dipôle sont décalées. La majorité des essais avec de telles antennes sont effectués au-dessus de 200 MHz, mais ces exigences s'appliquent en dessous de 200 MHz. Cet essai n'est pas destiné aux dipôles alignés ou aux antennes bicônes car une réjection de polarisation croisée supérieure à 20 dB est une caractéristique de leur conception symétrique. Il faut que de telles antennes et les antennes cornet aient une réjection supérieure à 20 dB et un essai de type effectué par le fabricant doit le confirmer.

Afin d'obtenir des conditions d'espace quasi-libre, on peut utiliser une chambre anéchoïque de haute qualité ou une tour de hauteur suffisante par rapport au sol sur un emplacement extérieur. 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 peut être démontrée par une transmission entre deux antennes ou 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 caractéristiques identiques, la caractéristique de polarisation croisée d'un cornet est d'environ 6 dB plus faible que celle de la combinaison de la paire de cornets.

Un signal parasite de 20 dB inférieur à celui du signal utile donne une erreur maximale de  $\pm 0,9$  dB sur le signal utile. 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 l'antenne log-périodique est moins bonne que 20 dB, il faut que l'opérateur calcule l'incertitude et la déclare 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 de forme en 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'anti-log. Ajouter ensuite le plus petit signal au signal unité. Prendre le log et multiplier par 20. Le résultat est l'erreur positive en décibels. Répéter le calcul mais en soustrayant le plus petit signal pour obtenir l'erreur négative en décibels.

Pour le calcul de l'incertitude sur le résultat de l'émission rayonnée, si le niveau de signal mesuré dans une polarisation dépasse celui du signal mesuré dans la polarisation orthogonale de 6 dB ou plus, l'antenne log-périodique dont la discrimination de polarisation est de seulement 14 dB sera jugée comme ayant satisfait à la spécification des 20 dB. Si la différence entre les niveaux en polarisation verticale et en polarisation horizontale est inférieure à 6 dB, il faut calculer l'incertitude supplémentaire si la somme de cette différence et de la polarisation croisée est inférieure à 20 dB.

#### 4.5 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 log-périodiques à doublet, les cornets à double strie, les cornets à gain standard. Le «faisceau» ou lobe principal du diagramme de toute antenne utilisée doit être suffisamment large pour englober l'appareil en essai lorsqu'il est placé à la distance de mesure, ou des dispositions doivent être prises pour «balayer» l'appareil en essai 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. Les dimensions de l'ouverture de ces antennes cornets doivent être suffisamment faibles pour que la distance de mesure  $R_m$  en mètres soit supérieure ou égale à la distance minimale suivante:

$$R_m \geq D^2/2\lambda$$

où

$D$  est la plus grande dimension de l'ouverture de l'antenne, en mètres;

$\lambda$  est la longueur d'onde en espace libre, en mètres, à la fréquence de mesure.

En cas de litige, des mesures effectuées avec un cornet à gain standard ou une antenne cornet similaire étalonnée de façon précise doivent prévaloir.

#### 4.6 Montages utilisant les antennes particulières

##### 4.6.1 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 appareil en essai peut être déterminé au moyen d'un système d'antennes cadres particulier, où il est mesuré en tant que courants induits par le champ magnétique dans les antennes cadres constituant le système. Le système permet d'effectuer les mesures à l'intérieur.

Le système se compose de trois grandes antennes circulaires, de 2 m de diamètre, occupant des plans mutuellement perpendiculaires, montés sur un support non métallique. Une description complète de ce système est donnée à l'Annexe C.

L'appareil en essai est installé au centre du système. Ses dimensions maximales sont telles que la distance entre cet appareil et l'une des antennes est au moins de 0,20 m. Des instructions pour le cheminement des câbles de signaux sont données à l'Article C.3, Note 2, 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 chacune des antennes cadres.

Les trois grandes antennes cadres 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'appareil en essai ou de modifier l'orientation des antennes.

Chacune des trois antennes doit être conforme aux exigences de validation données à l'Article C.5.

NOTE On peut utiliser des antennes circulaires d'un diamètre différent de celui normalisé à 2 m, à condition que ce diamètre  $D$  soit inférieur ou égal à 4 m et que la distance entre l'appareil en essai et l'une des antennes soit d'au moins  $0,10(D)$  m. Les facteurs de corrections à appliquer pour les antennes non normalisées sont donnés à l'Article C.6.

## **5 Emplacements d'essai pour les mesures du champ perturbateur dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz**

L'environnement doit assurer des résultats de mesures valides et reproductibles du champ perturbateur produit par l'appareil en essai. Pour les appareils qui ne peuvent être essayés que sur leur lieu d'utilisation, des dispositions différentes doivent être prises.

### **5.1 Emplacement d'essai en espace libre**

Les mesures du champ perturbateur sont normalement effectuées sur un emplacement d'essai en espace libre. Les emplacements d'essai en espace libre sont des zones caractéristiques de 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'appareil en essai. L'Annexe D donne des recommandations spécifiques de construction des emplacements d'essai en espace libre pour les essais de champ électromagnétique dans la gamme de 30 MHz à 1 GHz. La procédure de validation des emplacements d'essai en espace libre est donnée en 5.6 avec des détails complémentaires dans l'Annexe E. L'Annexe F contient le critère d'acceptabilité.

### **5.2 Enceinte de protection contre les intempéries**

Une protection contre les intempéries est souhaitable si l'emplacement d'essai est utilisé pendant toute l'année. Une structure de protection contre les intempéries peut soit protéger l'emplacement d'essai complet y compris l'appareil en essai et l'antenne de mesure de champ soit l'appareil en essai uniquement. Les matériaux utilisés doivent être transparents au rayonnement RF, afin de n'entraîner aucune réflexion ou affaiblissement indésirables du champ émis par l'appareil en essai.

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.

### **5.3 Zone libre d'obstacles**

Pour les emplacements d'essai en espace libre, une zone libre d'obstacles entourant l'appareil en essai et l'antenne de mesure de champ est nécessaire. Il convient que la zone libre d'obstacles soit exempte de diffuseurs importants des champs électromagnétiques, et suffisamment grande pour que les diffuseurs situés à l'extérieur de la zone libre d'obstacles aient peu d'effets sur les champs mesurés par l'antenne de mesure de champ. Pour déterminer la conformité de cette zone, il convient d'effectuer des essais de validation de l'emplacement.

Comme l'importance de la dispersion du champ par un objet dépend de nombreux facteurs (taille de l'objet, distance le séparant de l'appareil en essai, orientation par rapport à l'appareil en essai, conductivité et permittivité de l'objet, fréquence, etc.), il n'est pas possible de définir une zone libre d'obstacles raisonnable nécessaire et suffisante pour toutes les applications. La taille et la forme de la zone libre d'obstacles dépendent de la distance de mesure et de la nécessité ou non de faire tourner l'appareil en essai. Si l'emplacement est équipé d'une table tournante, la zone libre d'obstacles recommandée est une ellipse dont les deux foyers sont l'antenne de réception et l'appareil en essai, 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 appareil en essai de grandes dimensions est installé sur la table tournante, il faut que la zone libre d'obstacles soit agrandie de telle manière que les distances de dégagement des obstacles soient respectées sur tout le périmètre de l'appareil en essai.

Si l'emplacement n'est pas équipé d'une table tournante, c'est-à-dire si l'appareil en essai est stationnaire, la zone libre d'obstacles recommandée est une zone circulaire telle que la distance radiale du bord de l'appareil en essai au bord de la zone soit égale à la distance de mesure multipliée par 1,5 (voir Figure 3). Dans ce cas, on déplace l'antenne autour de l'appareil en essai à la distance de séparation.

Il convient que le terrain compris dans la zone libre d'obstacles soit 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. Il convient que les appareils de mesure et le personnel réalisant les essais soient situés à l'extérieur de la zone libre d'obstacles.

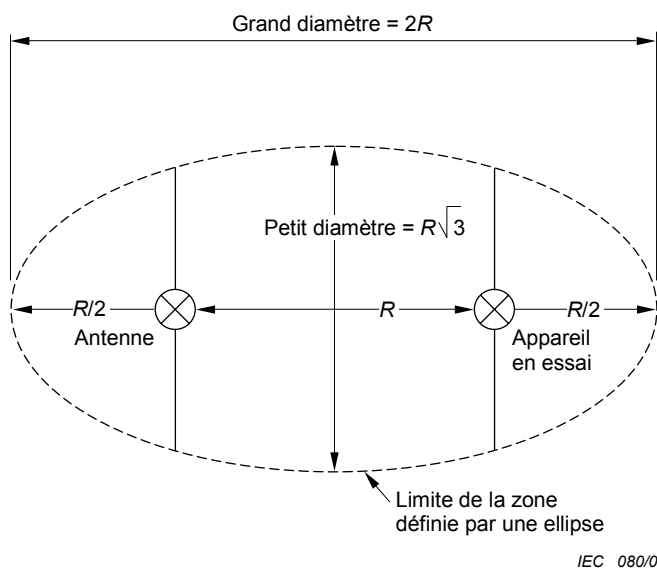
#### 5.4 Environnement radiofréquence ambiant d'un emplacement d'essai

Les niveaux radiofréquence ambiants d'un emplacement d'essai doivent être suffisamment bas comparés aux niveaux à mesurer. La qualité de l'emplacement dans ce domaine peut être évaluée par rapport aux quatre catégories énumérées ci-dessous, en ordre de qualité décroissante:

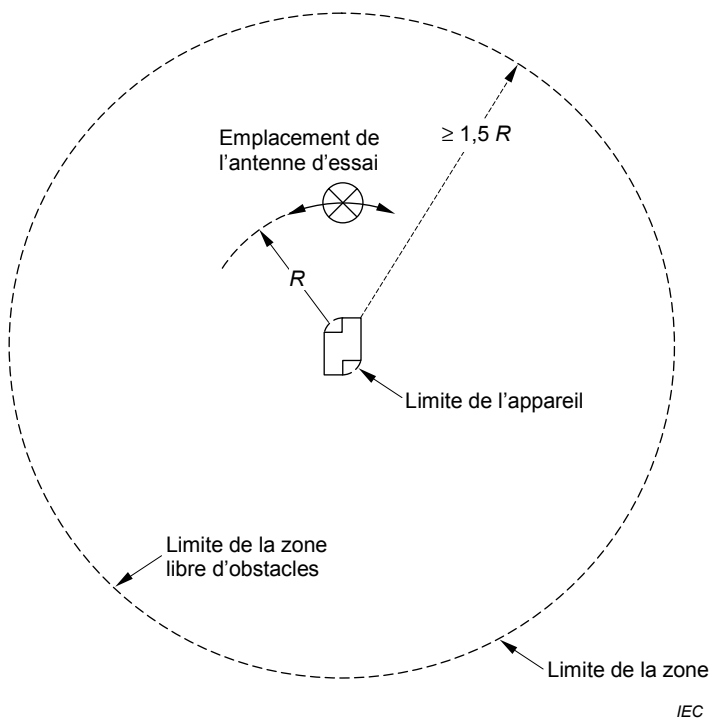
- a) les émissions ambiantes sont d'au moins 6 dB inférieures aux niveaux de mesure,
- b) certaines émissions ambiantes sont à moins de 6 dB des niveaux de mesure,
- c) certaines émissions ambiantes sont au-dessus des niveaux de mesure mais sont soit apériodiques (c'est-à-dire que le temps séparant deux émissions est suffisamment long pour permettre la réalisation d'une mesure) soit continues mais à un nombre limité de fréquences identifiables,
- d) les niveaux ambiants sont au-dessus des niveaux de mesure sur une grande portion de la gamme de fréquences de mesure et se produisent continuellement.

Il convient que le choix d'un emplacement d'essai garantisse que la précision des mesures est maintenue, en tenant compte de l'environnement et du niveau de compétence technique disponible.

NOTE On recommande un niveau ambiant inférieur de 20 dB au niveau d'émission mesuré, pour obtenir un résultat parfait.



**Figure 2 – Zone libre d'obstacles d'un emplacement d'essai équipé d'une table tournante (voir 5.3)**



**Figure 3 – Zone libre d'obstacles avec appareil en essai fixe (voir 5.3)**

## 5.5 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 5.6. 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.

## 5.6 Procédure de validation des emplacements en espace libre

La procédure de validation et les exigences pour l'affaiblissement normalisé de l'emplacement données ici sont utilisées pour qualifier un emplacement d'essai lorsqu'un plan de sol métallique est spécifié. 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 devant être examinées. Les procédures de validation applicables aux chambres munies de matériaux absorbants sont données au paragraphe 5.8.

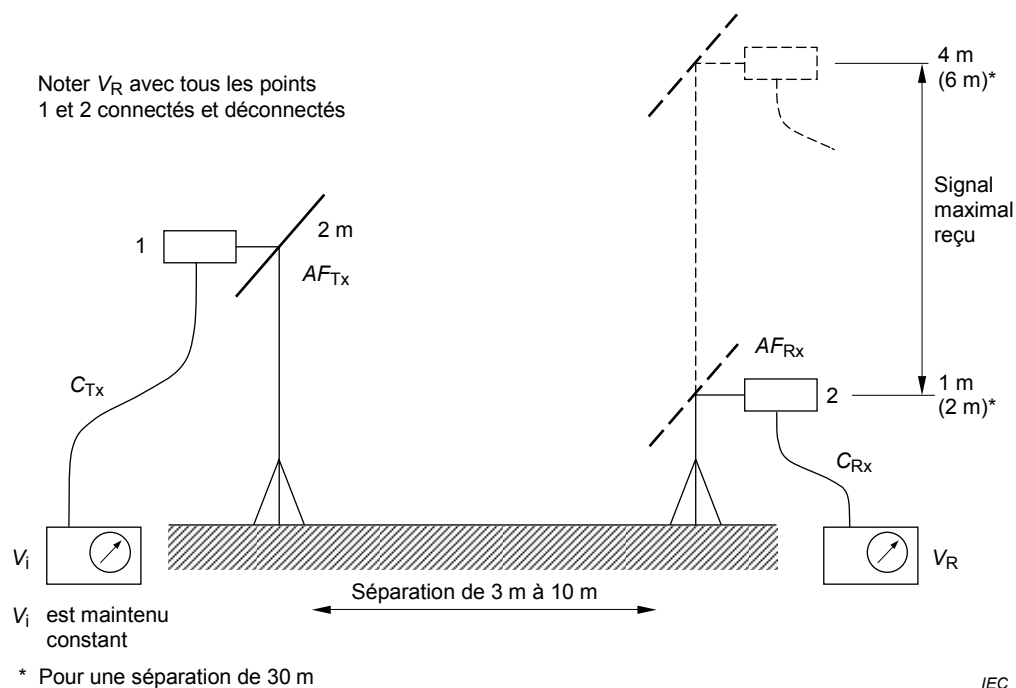
La validation d'un emplacement d'essai en espace libre est effectuée avec deux antennes orientées horizontalement et verticalement par rapport au sol, comme illustré respectivement aux Figures 4 et 5. L'affaiblissement de l'emplacement en espace libre est obtenu à partir du rapport entre la tension de 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 50  $\Omega$ . Des corrections destinées à prendre en compte les pertes dans les câbles sont nécessaires si  $V_r$  et  $V_i$  ne sont pas mesurées à l'entrée et à la sortie des antennes d'émission et de réception. Cet affaiblissement de l'emplacement est alors divisé par le produit des facteurs d'antenne des deux antennes utilisées. Le résultat est l'affaiblissement normalisé de l'emplacement ( $ANE$ ). Il est exprimé en dB. L'emplacement est considéré satisfaisant lorsque les  $ANE$  vertical et horizontal sont à moins de 4 dB des valeurs données aux Tableaux E.1, E.2 et E.3, selon le cas. Si le critère de  $\pm 4$  dB est dépassé, l'emplacement d'essai doit être vérifié en utilisant l'Article E.4.

NOTE L'Annexe F donne les fondements du critère d'acceptabilité de l'emplacement à 4 dB.

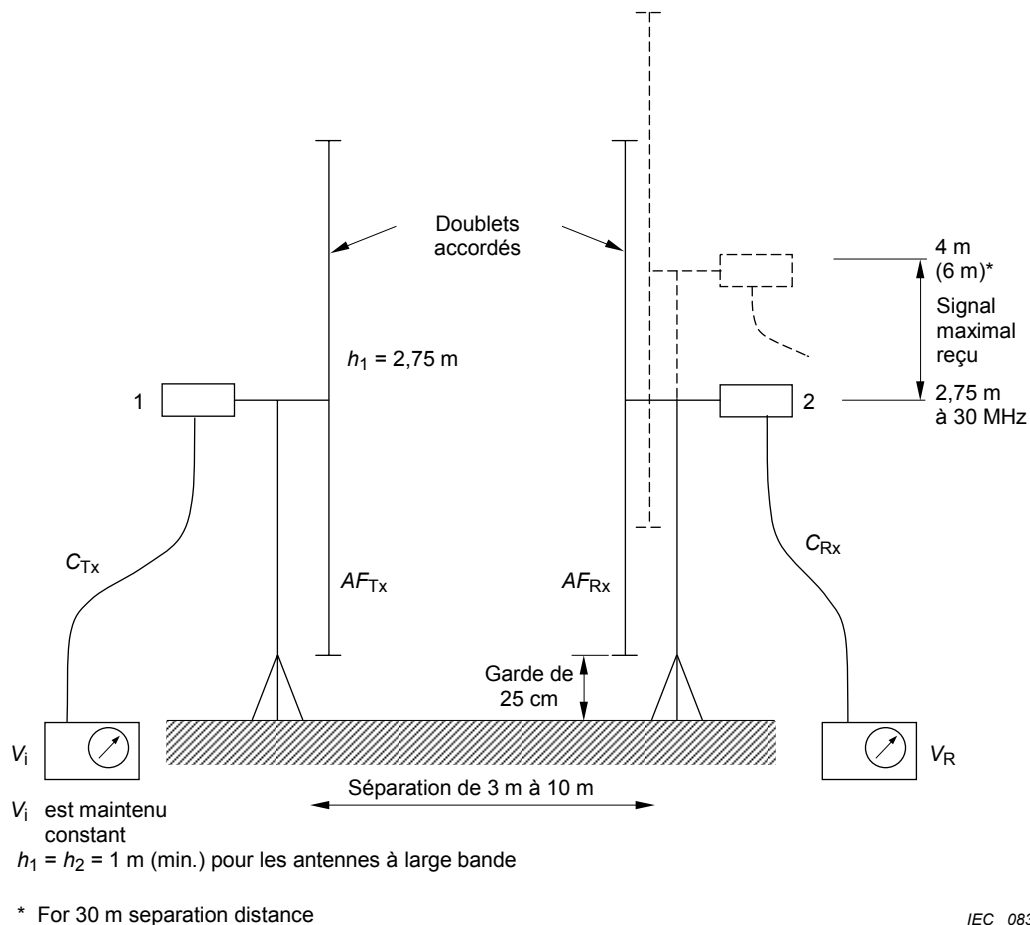
L'écart entre une valeur d' $ANE$  mesurée et la valeur théorique ne doit pas être utilisé comme correction du champ mesuré pour un appareil en essai. On doit utiliser cette procédure uniquement pour valider un emplacement d'essai.

Le Tableau E.1 est utilisé pour les antennes à large bande, telles que les antennes biconiques et log périodiques alignées 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 note, 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 Les différences entre les Tableaux E.1 et E.2/E.3 sont motivées par le choix de paramètres géométriques différents pour les antennes à large bande et les doublets demi-onde accordés, principalement en raison des restrictions pratiques imposées par ces derniers.



**Figure 4 – Configuration des équipements pour la mesure en polarisation horizontale de l'affaiblissement de l'emplacement (voir 5.6 et Annexe E)**



**Figure 5 – Configuration des équipements pour la mesure en polarisation verticale de l'affaiblissement de l'emplacement avec des dipôles accordés (voir 5.6 et Annexe E)**

Les *ANE* pour les fréquences autres que celles indiquées dans les tableaux peuvent être trouvés par interpolation linéaire des valeurs tabulées.

La légende de chaque tableau est la suivante:

$R$  Distance (en mètres) de séparation horizontale entre les points de projection des antennes d'émission et de réception sur le plan de sol.

$h_1$  Hauteur (en mètres) du centre de l'antenne d'émission au-dessus du plan de sol.

$h_2$  Plage de hauteurs (en mètres) 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 d'*ANE*.

$f_m$  Fréquence en MHz.

$A_N$  *ANE* (voir Equation (1), ci-dessous).

NOTE L'espacement  $R$  entre des antennes log-périodique en réseau est mesuré à partir de la projection sur le plan de sol du point milieu de l'axe longitudinal de chaque antenne.

On recommande de commencer par les mesures horizontales d'*ANE*. Ces mesures étant moins sensibles aux anomalies d'essai que les mesures en polarisation verticale, l'*ANE* mesuré doit impérativement être à moins de  $\pm 4$  dB des valeurs données aux Tableaux E.1, E.2 et E.3. Sinon, reconstruire la technique de mesure, la dérive des instruments et l'étalonnage des facteurs d'antenne. Si le critère de  $\pm 4$  dB est toujours dépassé, on est en présence d'une anomalie importante de l'emplacement qui devrait être clairement apparente, et une action corrective doit être entreprise avant d'effectuer la mesure d'*ANE* en polarisation verticale.

### 5.6.1 Mesure d'*ANE* générale

Pour les mesures de chaque polarisation, la procédure d'*ANE* nécessite deux mesures différentes de la tension reçue  $V_R$ . La première valeur de  $V_R$  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  $V_R$  est mesurée avec les deux câbles coaxiaux reconnectés à leur antenne respective et le signal maximal 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 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. La première valeur de  $V_R$  est appelée  $V_{\text{DIRECT}}$  et la seconde  $V_{\text{EMPLACEMENT}}$ . Ces valeurs sont utilisées dans l'Equation suivante (1) pour l'*ANE* mesuré  $A_N$ ; tous les termes sont en dB.

$$A_N = V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{EMPLACEMENT}} - AF_E - AF_R - \Delta AF_{\text{TOT}} \quad (1)$$

où

$AF_E$  est le facteur d'antenne d'émission;

$AF_R$  est le facteur d'antenne réception;

$\Delta AF_{\text{TOT}}$  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  $V_{\text{DIRECT}} - V_{\text{EMPLACEMENT}}$  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 pour  $\Delta AF_{\text{TOT}}$  sont données au Tableau E.4.  $AF_E$  et  $AF_R$  doivent être mesurés.

Noter que:  $V_{\text{DIRECT}} = V_i - C_E - C_R$

où

$C_E$  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, en polarisation horizontale avec doublets demi-onde accordés.

Pour effectuer ces mesures d'ANE, on peut utiliser deux techniques, suivant les instruments disponibles et suivant qu'on utilise une antenne 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 intégrées dans l'Equation (1) pour obtenir l'ANE mesuré. L'Annexe E suggère une procédure utilisant une approche pour l'enregistrement des données, le calcul de l'ANE mesuré, et sa comparaison avec l'ANE théorique.

b) Méthode de la fréquence balayée

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 élevée que la vitesse de déplacement en hauteur de l'antenne. Pour le reste, la procédure est la même qu'en a). Une procédure détaillée est donnée à l'Annexe E.

### 5.6.2 Détermination des facteurs d'antenne

Des facteurs d'antenne précis sont nécessaires pour la mesure de l'ANE. 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, il faut que leurs effets soient pris en compte. La formule à utiliser pour les doublets demi-onde accordés est également donnée à l'Annexe E.

### 5.6.3 Ecart d'affaiblissement de l'emplacement

Si les mesures d'ANE s'écartent de plus  $\pm 4$  dB, il convient de reconstrôler d'abord 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 de la lecture.

Si aucune erreur n'est trouvée en a), b) ou c), 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 donne les erreurs pouvant se produire au cours des mesures d'ANE.

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:

- a) la dimension du plan de sol et la non-conformité de sa construction;
- b) les objets situés à la périphérie de l'emplacement et susceptibles de provoquer une dispersion indésirable;
- c) la couverture de protection contre les intempéries;

- d) 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;
- e) les couvertures de plan de sol en diélectrique épais;
- f) les ouvertures dans le plan de sol pour cages d'escaliers.

## 5.7 Aptitude des emplacements d'essai avec plan de sol

Il existe beaucoup d'emplacements d'essai et de moyens 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. Les emplacements d'essai en espace libre, couverts et protégés contre les intempéries et les cages de Faraday tapissées de matériaux absorbants, font partie de ces emplacements d'essai.

Chaque fois qu'un matériau absorbant entoure l'emplacement d'essai, il est possible que le résultat d'une mesure unique d'atténuation normalisée de l'emplacement (*ANE*), comme spécifiée en 5.6, ne suffise pas à démontrer l'aptitude de l'emplacement d'essai.

On recommande la procédure suivante pour démontrer l'aptitude de tel emplacement d'essai. Elle est basée sur de multiples mesures d'*ANE* effectuées dans tout le volume occupé par l'appareil en essai. Ces mesures d'*ANE* doivent toutes être comprises dans le bilan d'erreur de  $\pm 4$  dB pour que l'emplacement soit jugé apte et équivalent à un emplacement d'essai en espace libre.

Les dispositions de ce paragraphe concernent les autres emplacements d'essai qui sont munis d'un plan de sol conducteur.

### 5.7.1 Atténuation normalisée pour les autres emplacements d'essai

Pour un autre emplacement d'essai, une mesure unique d'*ANE* est insuffisante pour mettre en évidence les réflexions dues aux matériaux de construction et/ou aux matériaux absorbants RF constituant les murs et le plafond de l'emplacement. Pour ces emplacements un «volume d'essai» est défini comme le volume tracé 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 l'évaluation de tels emplacements, il peut être nécessaire d'effectuer au maximum 20 mesures d'atténuation de l'emplacement comme indiqué aux Figures 6a et 6b. Ces 20 mesures se déduisent de cinq positions dans le plan horizontal (centre, droite, gauche, devant, derrière, 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 et 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, leurs éléments respectifs doivent être parallèles les uns aux autres et doivent être perpendiculaires à l'axe de mesure.

Pour les mesures en polarisation verticale, les positions décentrées des antennes d'émission sont placées à la périphérie du volume d'essai. De plus, le point le plus bas 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 murs latéraux, et la périphérie de l'appareil en essai est d'au moins 1 m, le centre de l'antenne est déplacé vers le centre du volume de sorte que le point extrême de l'antenne soit situé à la périphérie ou à une distance de la périphérie ne dépassant pas 10 % du diamètre du volume d'essai. Pour les positions avant et arrière, les antennes sont placées 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 ou des matériaux absorbants est situé à une distance supérieure à 1 m de la limite arrière du volume d'essai.

NOTE Il a été montré que les sources 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'appareil en essai peut être situé près de ces interfaces, des mesures supplémentaires d'atténuation 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, au total, 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'appareil en essai, y compris la table de montage, est situé à moins de 1,5 m de haut.
- d) Si le volume d'essai est inférieur ou égal à 1 m en profondeur par 1,5 m en largeur et 1,5 m en hauteur, y compris une table, éventuellement, les mesures en polarisation horizontale sont effectuées uniquement pour les positions centre, avant, arrière, mais aux deux hauteurs 1 m et 2 m. Si le point a) ci-dessus s'applique, la position arrière peut être omise. 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 Figures 6c et 6d.

Les mesures d'ANE doivent être effectuées avec les antennes d'émission et de réception séparées par une distance constante, conformément aux Tableaux 1 et 2. Noter que ces tableaux ont été modifiés pour s'adapter à ces mesures d'ANE, 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  $R$  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 6a, 6b, 6c et 6d). On considère que l'emplacement d'essai est apte aux mesures de rayonnement si toutes les mesures d'ANE prescrites ci-dessus remplissent les exigences de 5.7.2 et si le plan de sol remplit les exigences de 5.7.3 ci-dessous.

NOTE Des études sont en cours pour déterminer si des essais supplémentaires sont nécessaires pour vérifier l'aptitude des emplacements d'essai.

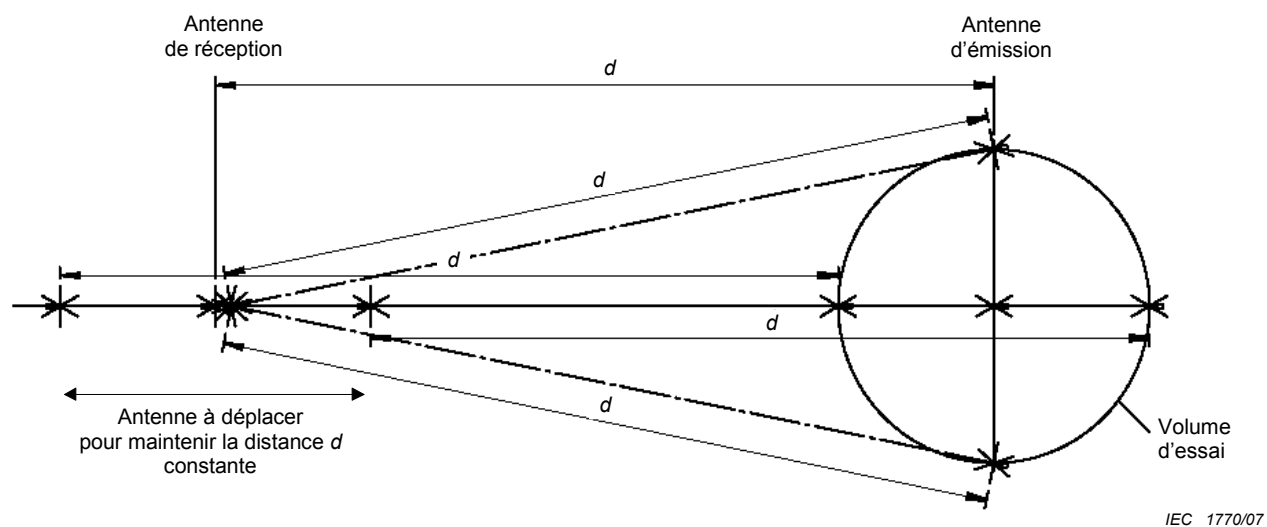
### 5.7.2 Atténuation de l'emplacement

Un emplacement d'essai doit être considéré comme acceptable pour les mesures de rayonnement électromagnétique si les valeurs d'ANE mesurées sont à  $\pm 4$  dB égales à la valeur théorique d'ANE pour un emplacement idéal.

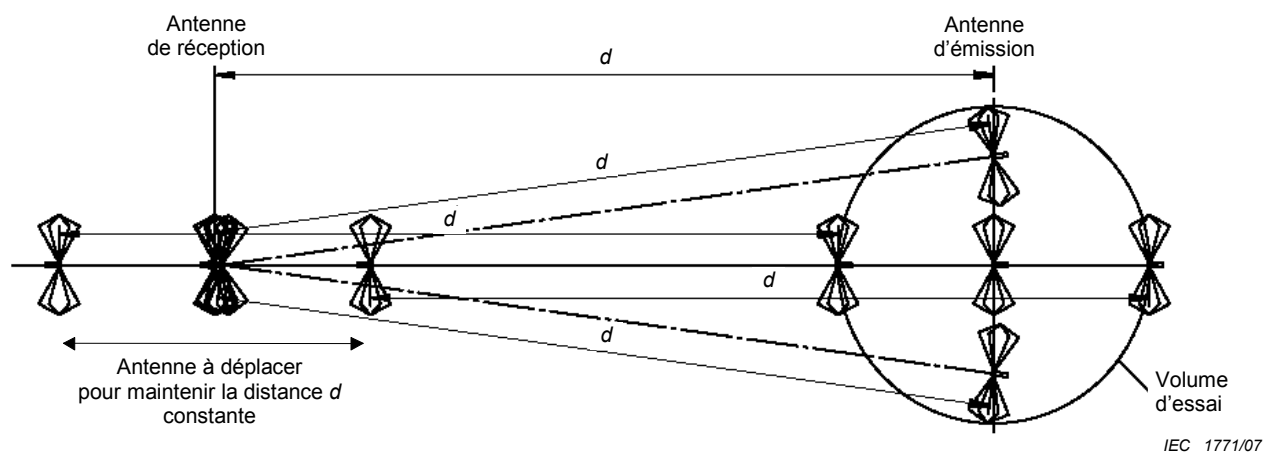
### 5.7.3 Plan de sol conducteur

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'appareil en essai et l'antenne de mesure la plus grande. Il doit couvrir toute la zone située entre l'appareil en essai 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 d'ANE ne remplissent pas le critère de  $\pm 4$  dB.

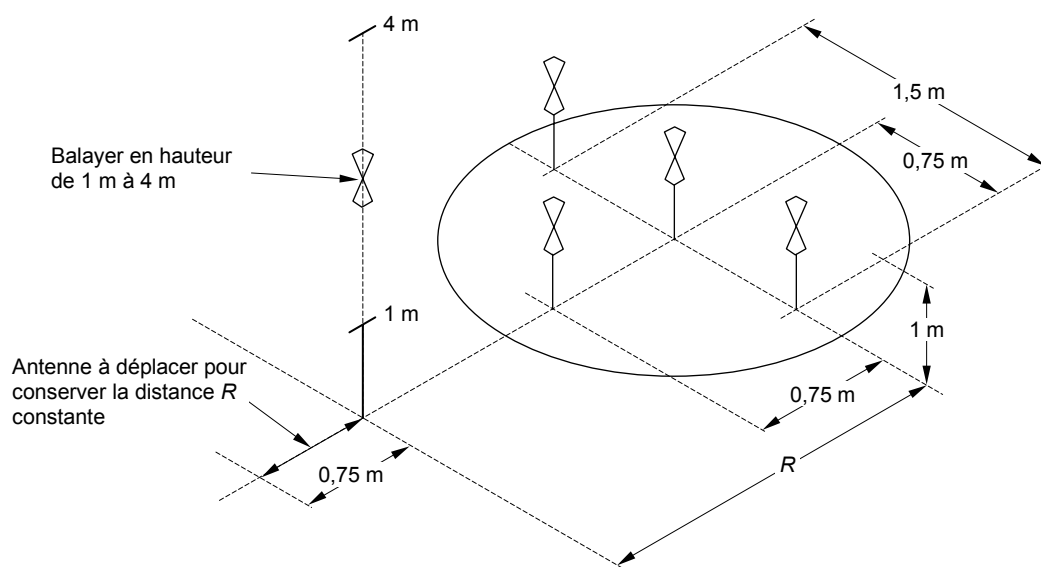
NOTE Des études sont en cours pour savoir s'il est nécessaire de spécifier une dimension minimale du plan de sol.



**Figure 6a – Positions typiques d'antenne pour les mesures d'ANE en polarisation verticale des sites d'essai choisis comme alternative**



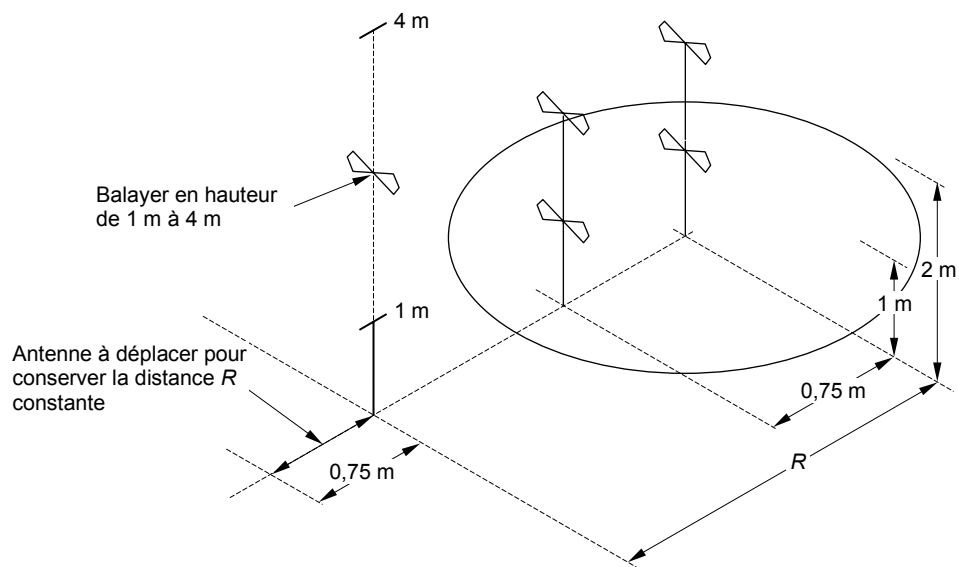
**Figure 6b – Positions typiques d'antenne pour les mesures d'ANE en polarisation horizontale des sites d'essai choisis comme alternative**



$R$  = distance conservée entre les projections verticales des centres des antennes émettrice et réceptrice

IEC 086/07

**Figure 6c – Positions typiques d'antenne pour d'autres emplacements d'essai – Mesure d'ANE en polarisation verticale pour un appareil de volume inférieur à 1 m de profondeur, 1,5 m de large, 1,5 m de haut et dont la périphérie est à plus de 1 m du matériau le plus proche susceptible de provoquer des réflexions**



$R$  = distance conservée entre les projections verticales des centres des antennes émettrice et réceptrice

IEC 087/07

**Figure 6d – Positions typiques d'antenne pour d'autres emplacements d'essai – Mesure d'ANE en polarisation horizontale pour un appareil de volume inférieur à 1 m de profondeur, 1,5 m de large, 1,5 m de haut et dont la périphérie est à plus de 1 m du matériau le plus proche susceptible de provoquer des réflexions**

**Figure 6 – Positions typiques pour d'autres emplacements d'essai**

**Tableau 1 – Affaiblissement normalisé de l'emplacement  
(géométries recommandées pour les doublets demi-onde accordés  
avec polarisation horizontale)**

| <b>Polarisation</b>             | <b>Horizontale</b>             | <b>Horizontale</b> | <b>Horizontale</b> |
|---------------------------------|--------------------------------|--------------------|--------------------|
| <b><math>R</math></b>           | <b>3 m</b>                     | <b>10 m</b>        | <b>30 m</b>        |
| <b><math>h_1</math></b>         | <b>2 m</b>                     | <b>2 m</b>         | <b>2 m</b>         |
| <b><math>h_2</math></b>         | <b>1 m à 4 m</b>               | <b>1 m à 4 m</b>   | <b>1 m à 4 m</b>   |
| <b><math>f_m</math><br/>MHz</b> | <b><math>A_N</math><br/>dB</b> |                    |                    |
| 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 de l'emplacement\*  
(géométries recommandées pour les antennes à large bande)**

| Polarisation                                                                                                                                                                                          | Horizontale | Horizontale | Horizontale | Verticale | Verticale | Verticale | Verticale |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $R$                                                                                                                                                                                                   | 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 |
| $f_m$<br>MHz                                                                                                                                                                                          | $A_N$<br>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 éloignées d'au moins 25 cm du plan de sol lorsque les centres de ces antennes sont situés à 1 m au-dessus du plan de sol, en polarisation verticale. |             |             |             |           |           |           |           |

## 5.8 Aptitude des emplacements d'essai sans plan de sol

La procédure applicable aux emplacements d'essai sans plan de sol dans la gamme de fréquences allant de 30 MHz à 1 000 MHz est la suivante.

### 5.8.1 Aspects de mesure pour les emplacements d'essai en espace libre, tels qu'ils sont constitués par des enceintes blindées complètement tapissées d'absorbants

Une enceinte blindée complètement tapissée par des absorbants, également connue sous le terme de chambre complètement anéchoïque (fully anechoic chamber – FAC) ou une enceinte complètement anéchoïque (fully anechoic room - FAR) peuvent être utilisés 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 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'appareil en essai 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.

### 5.8.2 Performances d'emplacement

Les performances d'emplacement peuvent être validées par deux méthodes qui sont décrites ci-dessous, la méthode de référence d'emplacement et la méthode *ANE*.

#### 5.8.2.1 Valeur théorique de l'affaiblissement normalisé de l'emplacement

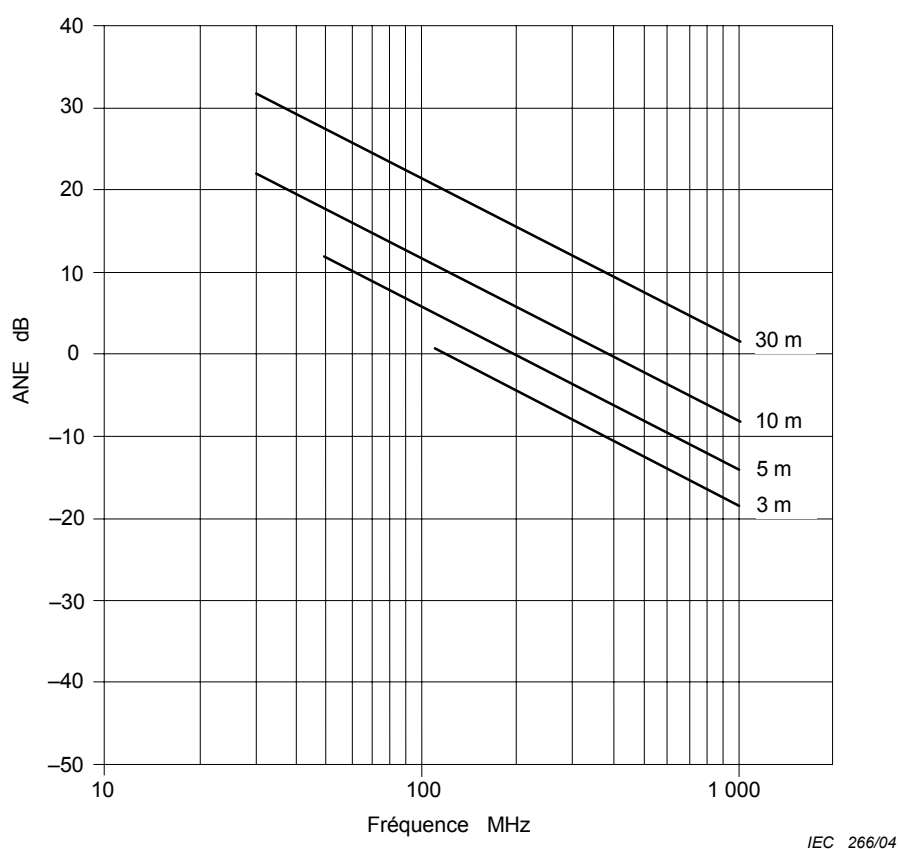


Figure 7 – Graphique de l'*ANE* théorique en espace libre en fonction de la fréquence pour différentes distances de mesure (voir Equation 4)

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 doivent être calculés pour chaque emplacement d'essai individuel.

On trouvera ci-dessous la théorie *ANE* pour des antennes infiniment petites.

L'affaiblissement de l'emplacement (*SA*) est la perte de transmission mesurée entre les connecteurs de deux antennes d'un emplacement particulier. Pour un environnement en espace libre, *SA* (en dB) peut être approché en utilisant l'Equation (2)<sup>1)</sup>

$$SA = 20\log_{10} \left[ \left( \frac{5Z_0}{2\pi} \right) \left( \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) \right] - 20\log_{10} f_m + AF_R + AF_T \quad (2)$$

où

$AF_R, AF_T$  sont les facteurs d'antenne des antennes d'émission et de réception en dB/m;  
 $d$  est la distance entre les centres de phase des deux antennes en mètres;  
 $Z_0$  est l'impédance de référence (c'est-à-dire 50  $\Omega$ );  
 $\beta$  est défini comme correspondant à  $2\pi/\lambda$ ; et  
 $f_m$  est la fréquence en MHz.

La valeur théorique de l'affaiblissement normalisé de l'emplacement (*ANE*) en dB est définie comme l'affaiblissement de l'emplacement avec les facteurs d'antenne respectifs déduits; en conséquence:

$$ANE_{\text{calc}} = 20\log_{10} \left[ \left( \frac{5Z_0}{2\pi} \right) \left( \frac{d}{\sqrt{1 - \frac{1}{(\beta d)^2} + \frac{1}{(\beta d)^4}}} \right) \right] - 20\log_{10} f_m \quad (3)$$

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 l'*ANE* théorique de la Figure 7 et de l'Equation (2). 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 c'est pourquoi il faut les obtenir en utilisant un code de modélisation numérique comme le NEC. Sinon, la méthode de référence d'emplacement de 5.8.2.2.1 prévoit l'annulation des termes de champ proche si les mêmes antennes et les mêmes fréquences sont utilisées à la fois pour la mesure de référence d'emplacement et pour la validation FAR.

Pour des distances de mesure de 10 m et de 30 m, les termes en champ proche de l'Equation (3) peuvent être omis et l'équation est simplifiée comme suit:

$$ANE_{\text{calc}} = 20\log_{10} \left[ \frac{5Z_0 d}{2\pi} \right] - 20\log_{10} f_m \quad (4)$$

1) Référence: GARBE, H. New EMC Test Facilities for Radiation Measurements. *Review of Radio Science* 1999-2002. John Wiley and Sons, New York, 2002.

Si l'Equation simplifiée (4) est utilisée à la place de l'Equation (2), 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 >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'Equation (2) pour réduire cette erreur.

### 5.8.2.2 Procédure de validation d'emplacement

L'ANE doit satisfaire à l'exigence de 5.8.3 sur un volume d'essai cylindrique généré par la rotation de l'appareil en essai sur une table tournante. Dans ce contexte, «l'appareil en essai» comprend tous les composants d'un appareil en essai 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'appareil d'essai.

**Tableau 3 – Dimensions maximales du volume d'essai par rapport à la distance d'essai**

| Diamètre maximal $d_{\max}$ et<br>hauteur maximale $h_{\max}$<br>du volume d'essai<br>m | Distance d'essai<br>$D_{\text{nominal}}$<br>m |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| 1,5                                                                                     | 3,0                                           |
| 2,5                                                                                     | 5,0                                           |
| 5,0                                                                                     | 10,0                                          |

Une mesure du SA (site attenuation: affaiblissement d'emplacement) dans une seule position peut ne pas être suffisante pour mettre en évidence les éventuelles réflexions provenant de la construction de l'enceinte et/ou du matériau absorbant qui tapisse les murs, le plancher, le plafond et la table tournante de la FAR.

Les mesures et la validation du SA dans une enceinte complètement anéchoïque doivent être réalisées en 15 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 8):

- 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 appareils, 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.

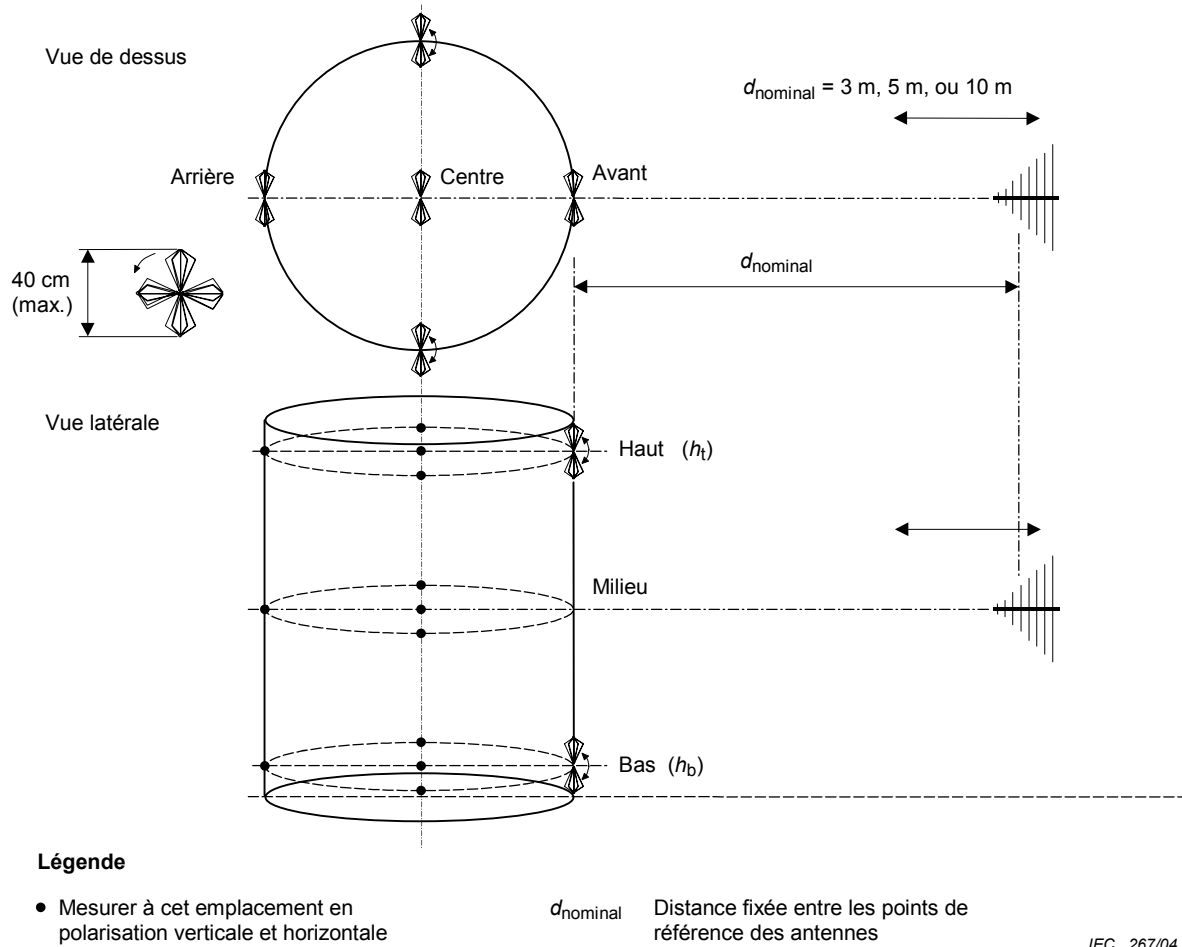
Deux antennes à large bande doivent être utilisées pour les mesures du SA: une antenne d'émission avec son point de référence aux positions de mesure du volume d'essai et une antenne de réception à l'extérieur de ce volume d'essai avec une orientation et une position prescrites. L'antenne d'émission doit avoir un diagramme de plan H approximativement omni-directionnel. (La dimension maximale ne doit pas dépasser 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 biconiques/LPD) 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 LPD (entre 200 MHz et 1 000 MHz)].

NOTE Il n'est pas recommandé d'utiliser une antenne hybride (combinaison biconique/LPD) 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 (5.8.2.2.2). L'antenne de réception utilisée au cours de la validation de l'enclainte doit être du même type d'antenne que celui utilisé au cours des essais des émissions rayonnées de l'appareil en essai.

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 8 et 9. 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  $d_{\text{nominal}}$ . Lorsque l'antenne d'émission est déplacée vers d'autres positions à l'intérieur du volume d'essai, l'antenne de réception doit être translatée le long de l'axe de mesure pour maintenir  $d_{\text{nominal}}$ . L'axe de mesure est la ligne entre l'antenne d'émission et l'antenne de réception, le long de laquelle  $d_{\text{nominal}}$  est définie. Pour toutes les positions et toutes les polarisations, il faut que l'antenne de réception et l'antenne d'émission se fassent face, les éléments des deux antennes étant parallèles (pour l'inclinaison, voir la Figure 9). Les mâts d'antenne et les planchers de support doivent être en place au cours de la procédure de validation.



**Figure 8 – 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.

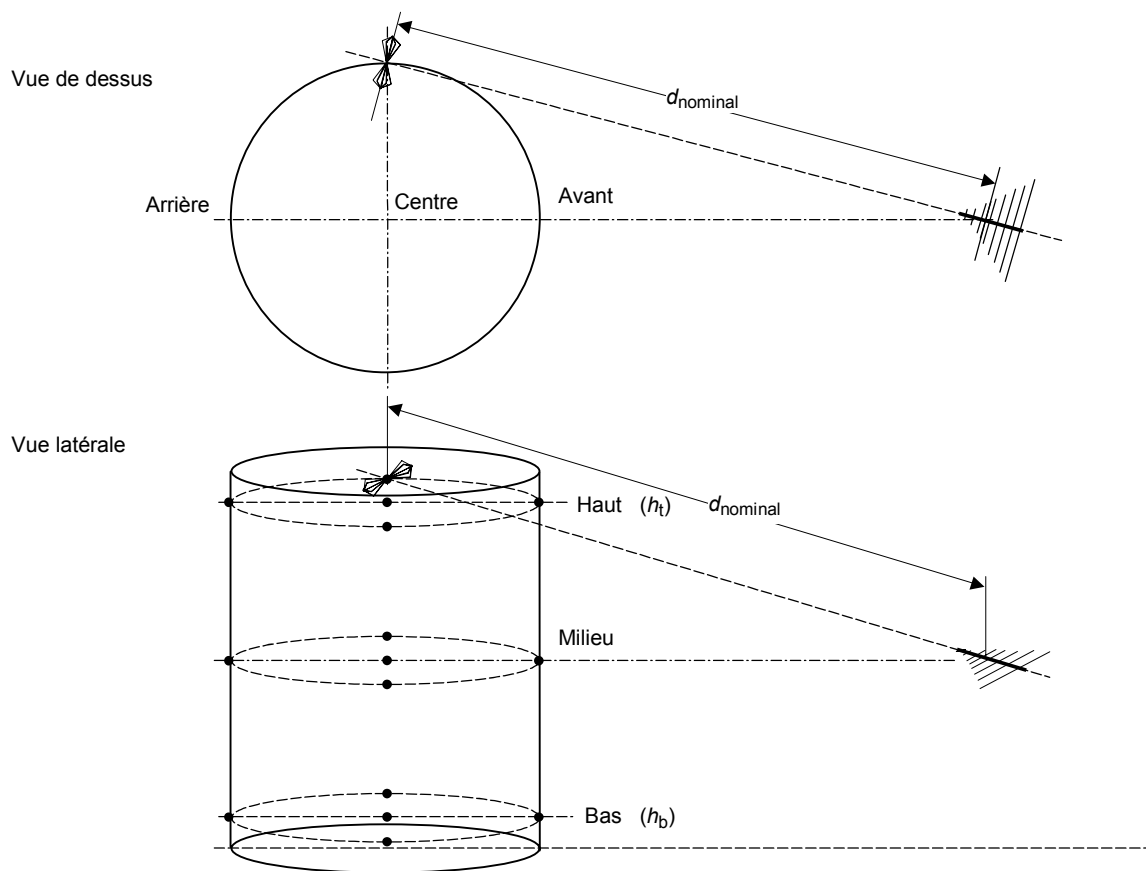
L'inclinaison des antennes est nécessaire pour satisfaire à cette exigence pour certaines positions (voir Figure 9).

$d_{\text{nominal}}$  { est la distance d'essai associée à la limite;  
est la distance d'antenne 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  $h_{\text{max}}$  (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 respectivement est donnée par les performances de l'absorbant telles qu'elles sont déterminées par l'essai volumétrique *ANE* mais doit être d'au moins 0,5 m pour éviter un couplage entre l'appareil en essai et l'absorbant.



IEC 268/04

NOTE Antenne à polarisation horizontale, position en haut à droite.

**Figure 9 – Exemple d'une position de mesure et 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<br>MHz | Pas maximal de fréquence<br>MHz |
|----------------------------|---------------------------------|
| 30 – 100                   | 1                               |
| 100 – 500                  | 5                               |
| 500 – 1 000                | 10                              |

Deux méthodes sont admissibles pour la validation de l'emplacement:

- une méthode de référence d'emplacement qui est exigée pour les distances d'essai inférieures à 5 m;
- la méthode *ANE* 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.
- Les atténuateurs au niveau des connecteurs de l'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  $180^\circ$  par rapport à son axe de pointage. Les méthodes pour la vérification de l'équilibrage de l'antenne sont décrites en 4.4.2).
- Il est admis d'utiliser des antennes biconiques et LPD séparées pour l'évaluation de la chambre (on change de type d'antenne à 200 MHz), si elles sont utilisées pour les essais des appareils. Une antenne hybride (combinaison biconique/LPD) est une combinaison de ces deux types et il est également admis de l'utiliser si les dimensions mécaniques sont suffisamment faibles pour la distance de mesure.

La procédure de validation 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 l'enceinte complètement anéchoïque.

### 5.8.2.2.1 Méthode de référence d'emplacement

Les 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 ( $SA_{ref}$ ) est décrite en 5.8.2.2.2. 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  $SA_{ref}(d)$  est réalisé à la distance nominale,  $d_{nominal}$ , 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 3 étapes comme suit.

- 1)  $M0$  est le niveau de référence mesuré par le récepteur en dB $\mu$ V avec les câbles connectés entre eux, normalement réalisé une fois avant une série d'essais volumétriques.
- 2)  $M1$  est le niveau mesuré par le récepteur en dB $\mu$ V avec les antennes installées.

L'affaiblissement d'emplacement de l'emplacement validé  $SA_{val}$  peut être calculé par

$$SA_{val} = M0 - M1 \text{ en dB} \quad (5)$$

- 3) L'écart de l'affaiblissement d'emplacement mesuré ( $\Delta SA$ ) par rapport à l'affaiblissement d'emplacement de référence  $SA_{ref}(d)$  est calculé en utilisant l'Equation (6).

$$\Delta SA = SA_{ref}(d) - SA_{val} \text{ en dB} \quad (6)$$

### 5.8.2.2.2 Détermination de la référence d'emplacement

Pour des validations d'emplacement précises à des distances inférieures à 5 m, il est recommandé que des paires d'antennes dédiées soient utilisées 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  $\epsilon_r \leq 2,5$ , à perte faible, 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 10). Une méthode possible de réalisation de la performance de  $\pm 1$  dB de l'emplacement de référence consiste à choisir la hauteur ( $h$ ) des antennes comme suit:

$$h \geq d \times 8/3 \quad (7)$$

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, et 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 donne une erreur de 0,8 dB pour une hauteur de 5/3. Cela a été vérifié par les laboratoires 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 aussi 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'arrangement de câbles représenté à la Figure 10 ou en utilisant les liaisons optiques RF.

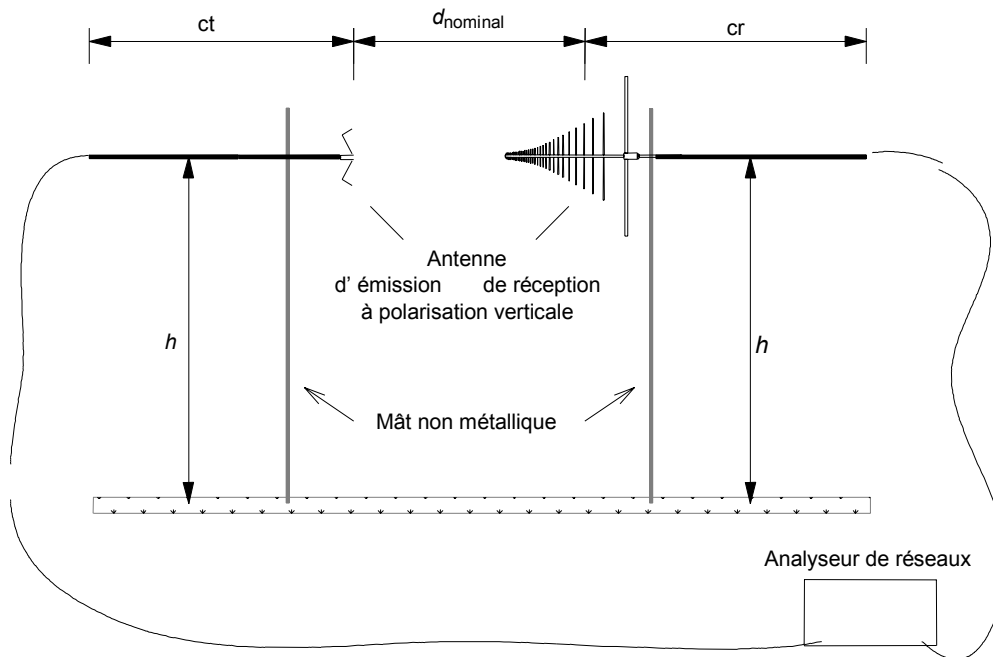
La qualité du montage de référence influence directement le résultat d'évaluation de la FAR.

La référence d'emplacement ( $SA_{ref}$ ) est déterminée en 3 étapes comme suit.

- 1)  $M0_{RS}$  est le niveau de référence mesuré par le récepteur en dB $\mu$ V avec les câbles connectés ensemble.
- 2)  $M1_{RS}(d)$  est le niveau mesuré par le récepteur en dB $\mu$ V avec les antennes installées à la distance exigée  $d_{nominal}$ .
- 3) Le  $SA_{ref}(d)$  est calculé selon l'Equation (8).

$$SA_{ref}(d) = M0_{RS} - M1_{RS}(d) \text{ en dB} \quad (8)$$

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 typique 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 5.8.1 est satisfaite. Pour la validation d'emplacement avec  $d > 3$  m, on utilise l'équation  $h > d \times 8/3$  ou un montage alternatif dont il a été démontré qu'il satisfaisait à l'affaiblissement d'emplacement de référence de  $\pm 1$  dB.



IEC 269/04

#### Légende

$d_{nominal}$  distance de validation

$h$  hauteur des antennes au-dessus du plan de sol ou au-dessus du niveau du sol

ct, cr câbles d'alimentation coaxiaux pour antenne d'émission et de réception orientées horizontalement à l'arrière de l'antenne pour une distance aussi proche de 2 m que possible physiquement. 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 La référence d'emplacement est obtenue séparément pour toutes les configurations de la Figure 10.

**Figure 10 – Montage de mesure de la référence type d'emplacement en espace libre**

### 5.8.2.2.3 Méthode ANE

Les facteurs d'antenne en espace libre de l'antenne d'émission et de réception (définis par les articles sur l'étalonnage des antennes dans la série CISPR 16) sont nécessaires pour cette procédure. La validation d'emplacement pour chaque position de mesure est réalisée en 4 étapes comme suit.

- 1)  $M0$  est le niveau de référence mesuré par le récepteur avec les câbles connectés ensemble.
- 2)  $M1$  est le niveau mesuré par le récepteur avec les antennes installées.
- 3) L'ANE mesuré ( $ANE_m$ ) est calculé en dB selon l'Equation (9)

$$ANE_m = M0 - M1 - AF_T - AF_R \text{ en dB} \quad (9)$$

où  $AF_T$  et  $AF_R$  sont des facteurs d'antenne en espace libre en dB/m.

- 4) L'écart  $\Delta ANE$  est calculé en dB selon l'Equation (10)

$$\Delta ANE = ANE_m - ANE_{calc} \quad (10)$$

où  $ANE_{calc}$  est calculé en utilisant l'Equation (4), et  $\Delta ANE$  est comparé avec le critère ANE applicable, par exemple  $\pm 4$  dB, donné en 5.8.3.

NOTE Il faut que la distance  $d$  entre les points de référence des antennes d'émission et de réception (définie par l'étalonnage d'antenne) soit utilisée comme  $d_{nominal}$ . La distance efficace entre les antennes varie avec la fréquence en raison de leurs positions de centre de phase. La perte de transmission doit être compensée par le rapport de la distance efficace sur  $d_{nominal}$ .

### 5.8.3 Critères de validation d'emplacement

Un emplacement de mesure doit être conforme aux exigences suivantes:

- les écarts du SA ou du ANE (Equations (6) ou (10)) doivent être inférieurs à  $\pm 4$  dB à la fois pour la polarisation horizontale et la polarisation verticale et pour chaque position de mesure et chaque fréquence de mesure;
- il faut que le budget d'incertitude de l'évaluation d'emplacement selon les recommandations de la CISPR 16-4-2 soit consigné et il doit avoir les mêmes composants que ceux nécessaires pour les mesures de contrainte de champ sur les emplacements d'essai alternatifs avec plan de sol.

## 5.9 Evaluation de la table d'essai et du mât d'antenne

### 5.9.1 Introduction

Une table d'essai, comme décrite à l'Article D.5, positionne typiquement l'EST 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 Bibliographie). Le paragraphe suivant (5.9.2) décrit une procédure pour déterminer l'influence de la table d'essai pour la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz et pour estimer sa contribution aux incertitudes sur les mesures d'intensité de champ.

NOTE Seule la polarisation horizontale d'une antenne de transmission située au-dessus de la table d'essai est utilisée pour l'évaluation. Cette polarisation prend en compte les effets les plus défavorables de la table.

Le mât d'antenne ne nécessite aucune évaluation additionnelle car tous les effets de perturbation seront inclus dans le mesure d'ANE.

### 5.9.2 Procédure d'évaluation de l'influence des tables d'essai (équipement de table)

Le type, la forme et les composants matériels de la table d'essai peuvent affecter les résultats de mesure d'intensité de champ. Une procédure d'évaluation doit être réalisée afin de déterminer ces effets et d'estimer les incertitudes type causées par la table. Pour évaluer l'influence de la table d'essai, deux mesures de transmissions sont réalisées avec une antenne de transmission spécifique dans une disposition spécifique, avec et sans la table d'essai. Cette 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 dans le site 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) face à la direction de l'antenne de réception (voir Figure 11). Pour la gamme de fréquences jusqu'à 1 000 MHz, une petite antenne bicônique avec une longueur totale de moins de 0,40 m est placée au-dessus de la table d'essai, en polarisation horizontale. La distance entre la surface de la table d'essai et le centre du symétriseur est de 0,1 m (voir Figure 12). La petite antenne bicônique est positionnée avec son point de référence (symétriseur) entre le centre et le chant du dessus de la table d'essai, dans la direction de l'antenne de réception. Un générateur de signal alimente l'antenne de transmission au-dessus de la table d'essai. Les paliers 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. Le câble d'alimentation est disposé horizontalement à l'arrière sur approximativement 2 m à la même hauteur que l'antenne. Il convient que des tubes de ferrite soient placés sur le câble d'alimentation de l'antenne de réception, à intervalles appropriés pour éviter l'influence du câble d'alimentation sur les mesures.

Deux mesures de transmission doivent être réalisées pour déterminer la tension maximale  $V_r$  sur l'antenne de réception, la position de l'antenne de transmission restant inchangée pour chacun des essais – un avec et un sans la table d'essai. Dans la gamme de fréquences en dessous de 1 GHz, des mesures doivent être réalisées au moins dans la gamme de fréquences de 200 MHz<sup>2)</sup> à 1 GHz. L'antenne de réception est scrutée en hauteur entre 1 m et 4 m pour un site d'essai en espace libre (OATS) ou en chambre semi-anéchoïque (SAC) alors que dans une chambre totalement anéchoïque (FAR), l'antenne de réception est à une hauteur fixée.

La différence  $\Delta(f)$  entre les deux résultats de mesure est ensuite calculée en utilisant l'Equation (11), avec les tensions mesurées exprimées en dB( $\mu$ V).

$$\Delta(f) = |V_{r/with} - V_{r/without}| \quad (11)$$

où

$V_{r/without}$  est la tension mesurée à une fréquence spécifique sans la table d'essai;

$V_{r/with}$  est la tension mesurée à une fréquence spécifique avec la table d'essai.

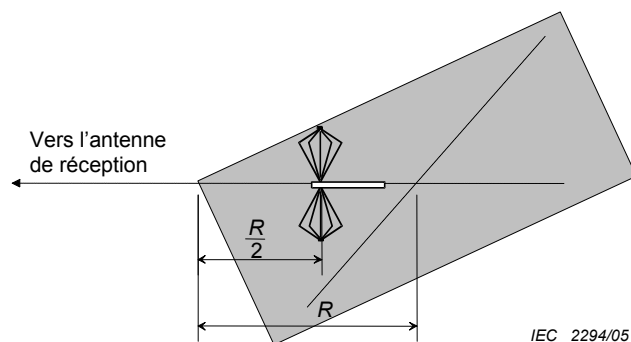
L'amplitude de la différence maximale  $\Delta_{max}$  dans la gamme de fréquences de 200 MHz à 1 000 MHz est utilisée comme la déviation maximale estimée avec  $\Delta_{max}$  exprimé en dB.

$$\Delta_{max} = \max |V_{r/with} - V_{r/without}|_{200 \text{ MHz} - 1 \text{ 000 MHz}} \quad (12)$$

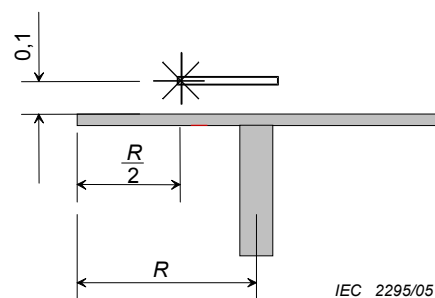
L'incertitude type  $u_{table}$  induite par la table d'essai est estimée en supposant une distribution rectangulaire pour la différence maximale mesurée  $\Delta_{max}$ . Ainsi,  $u_{table}$  (en dB) peut être calculée en utilisant l'Equation (13).

$$u_{table} = \frac{1}{\sqrt{3}} \cdot \Delta_{max} \quad (13)$$

2) En dessous d'environ 200 MHz, l'influence de la table d'essai est négligeable lors de l'application de cette procédure d'évaluation.



**Figure 11 – Position de l'antenne par rapport au champ au-dessus d'une table d'essai rectangulaire (vue de dessus)**



**Figure 12 – Position de l'antenne au-dessus de la table d'essai (vue de côté)**

NOTE Les laboratoires d'essai, typiquement, peuvent appliquer différents types de tables pour lesquelles la conception et le type de matériau peut différer. Il est suffisant de déterminer la valeur la plus défavorable de  $\Delta$  (ou  $V_r$  with) dans la détermination de  $u_{table}$ .

### 5.9.3 Procédure d'évaluation de l'influence des tables d'essai (équipement posé au sol)

La table d'essai pour un EST posé au sol doit être construite en utilisant un matériau non conducteur et à faible permittivité. Si le périmètre de la table d'essai est inférieur ou égal au périmètre de l'EUT à la base (empreinte), l'évaluation de la table n'est pas nécessaire.

## 6 Chambre réverbérante pour la mesure de la puissance totale rayonnée

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 autrement produire une distribution non uniforme de la densité d'énergie dans la chambre. La densité d'énergie à 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.

### 6.1 Chambre

#### 6.1.1 Dimensions et forme

Les dimensions de la chambre doivent être grandes par rapport à la longueur d'onde de la plus basse fréquence considérée. La chambre doit également être assez 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 ayant un volume d'environ  $0,2 \text{ m}^3$  à celles de grands appareils de  $1,7 \text{ m}$  de hauteur sur une base de  $760 \text{ mm}$ . La chambre peut avoir n'importe quelle forme, pourvu 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  $1 \text{ GHz}$ , la chambre doit avoir un volume d'au moins  $8 \text{ m}^3$ . Les dimensions réelles dépendent des caractéristiques physiques de la chambre. Voir 6.1.4 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.

### 6.1.2 Porte, ouvertures dans les murs et équerres de montage

La porte de l'enceinte doit être assez 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.

### 6.1.3 Agitateurs

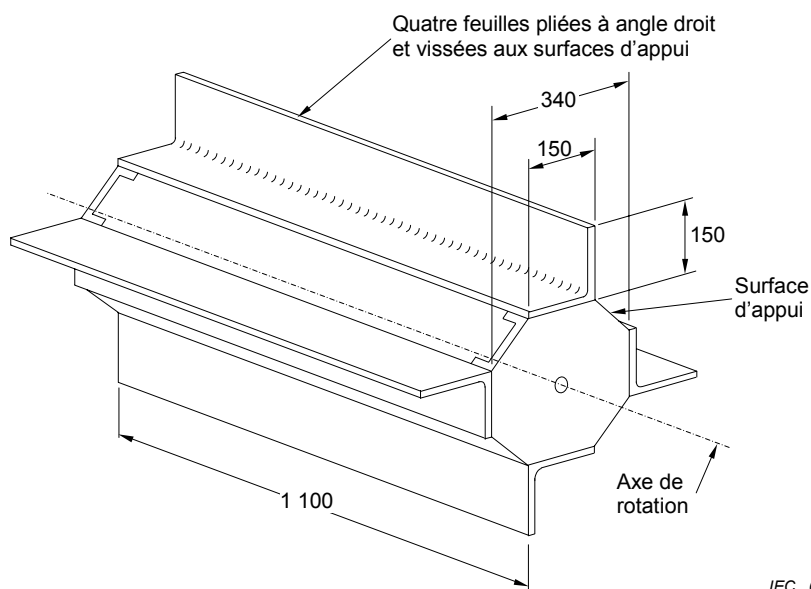
Deux exemples d'agitateurs sont décrits ici. D'autres formes sont autorisées à condition que l'efficacité d'agitation satisfasse aux critères de 6.1.4.

#### 6.1.3.1 Pales tournantes

Si on utilise des pales tournantes, deux d'entre elles sont placées sur des murs adjacents de la chambre et séparées des murs 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 possible compte tenu des dimensions du mur et leur largeur doit être d'environ  $1/5$  de leur longueur.

#### 6.1.3.2 Aubes tournantes

Si des aubes tournantes sont utilisées, deux ou trois aubes sont montées sur les murs 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 13, et tourner autour d'un axe parallèle à leur longueur. Le diamètre de l'espace tubulaire balayé doit normalement être au moins égal à la longueur d'onde maximale utilisée, et les longueurs doivent normalement avoir la valeur maximale possible compte tenu des dimensions des murs. Leur structure doit être rigide.



IEC 088/07

Dimensions en millimètres

Figure 13 – Exemple d'agitateur typique à aubes

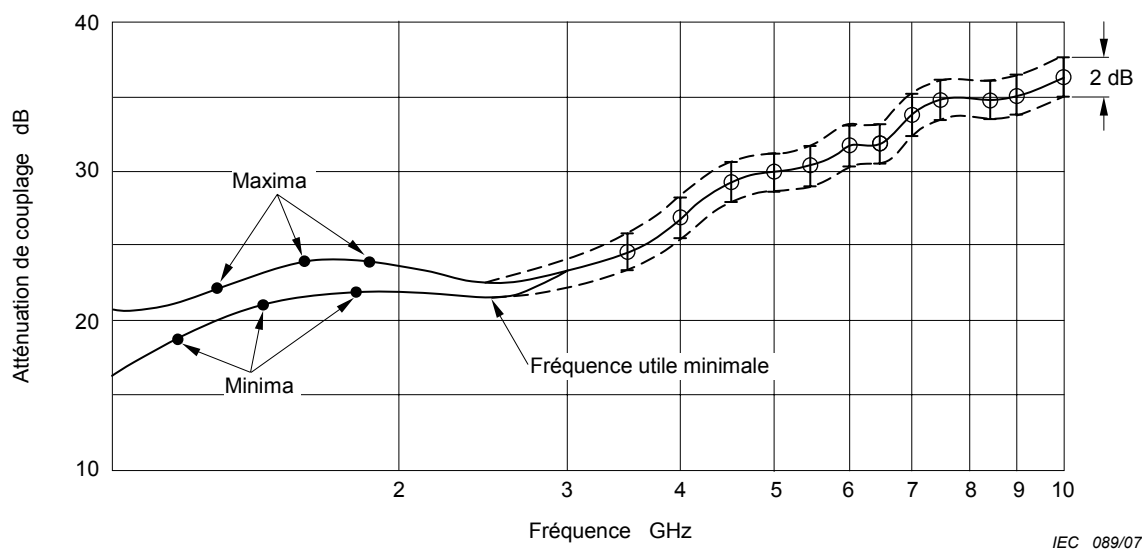
### 6.1.3.3 Vitesse de rotation

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 6.1.5 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 murs de la chambre.

### 6.1.4 Essai d'efficacité 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 6.1.5) en fonction de la fréquence. Aux basses fréquences, en raison des longueurs d'onde plus grandes, il est plus difficile de réaliser cette uniformité et il existe des minima et maxima prononcés. Plus l'efficacité des agitateurs est grande, plus l'écart entre les minima et les maxima est faible, 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 maxima et minima, 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 à des intervalles de 45° et on répète l'essai pour chaque position et chaque fréquence. L'essai complet doit être répété de nouveau avec l'antenne de réception tournée de 90°. On considère que les agitateurs sont satisfaisants lorsque: (1) l'enveloppe de la courbe des minima et maxima 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 typique est illustré à la Figure 14.



NOTE Il est recommandé que tous les points mesurés se situent dans l'enveloppe de 2 dB marquée en tirets.

**Figure 14 – Gamme de l'affaiblissement de couplage en fonction de la fréquence pour une chambre utilisant l'agitateur de la Figure 13**

### 6.1.5 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 un mur de la chambre. Une antenne de réception peut être placée à n'importe quel point de la chambre, à condition qu'elle soit à au moins  $1/4$  de longueur d'onde des murs et qu'elle ne soit pas dirigée vers l'antenne d'émission, ou vers le mur de la chambre le 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 via un filtre passe-haut; sa sortie est branchée, à travers un filtre passe-bande, à un détecteur à diode. Le filtre passe-bande doit être accordé à la fréquence concernée et avoir la bande passante spécifiée. La sortie du détecteur est branchée 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. Ensuite, le générateur de signaux est connecté à l'entrée de l'amplificateur à faible bruit, et la puissance de sortie,  $p$ , est réglée pour obtenir la même lecture sur le voltmètre. La puissance fournie à l'amplificateur à faible bruit est notée. L'affaiblissement de couplage est  $10 \log (P/p)$  dB.

## 7 Cellules TEM pour les mesures d'immunité aux perturbations rayonnées

(A l'étude)

## 8 Emplacements d'essai pour la mesure des champs radioélectriques perturbateurs dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz

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'appareil en essai 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 réflexions ne soient pas satisfaites près du sol.

### 8.1 Emplacement d'essai de référence

L'emplacement d'essai de référence doit être un emplacement d'essai ouvert en espace libre (FSOATS) avec des précautions pour s'assurer que les réflexions n'influencent pas la mesure.

### 8.2 Validation de l'emplacement d'essai

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 8.2.1; le Paragraphe 8.2.2 fournit la procédure de validation de l'emplacement d'essai. 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'EST, comme cela peut être le cas pour les installations destinées à soumettre aux essais des EST 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 que le plan de sol.

Pendant l'essai en émission d'un EST posé au sol, les absorbants de sol peuvent être retirés dans la proximité immédiate (empreinte au sol) de l'EST, et jusqu'à 10 cm autour de l'empreinte au sol de l'EST.

Dans les installations pour lesquelles le volume d'essai est au dessus de la hauteur des absorbants, comme cela est le cas des installations utilisées pour soumettre aux essais des équipements placés sur table, des absorbants peuvent être placés 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 d'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 la mesure du rapport appelé rapport d'ondes stationnaires 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 le Paragraphe 7.3.6.1 de la CISPR 16-2-3), et du matériau absorbant placé si nécessaire sur le plan de sol afin de satisfaire au critère du Paragraphe 8.2.1. Les influences du mat de l'antenne de réception, localisé 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. Les objets amovibles tels qu'une table d'essai amovible, n'ont pas à être présents pendant les essais de validation de l'emplacement, si leur influence est à déterminer par les procédures additionnelles du Paragraphe 5.8 de la présente norme.

Le CISPR 16-2-3 fournit une description de la méthode de mesure de l'EST, celle-ci étant 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 appareil en essai, de dimensions et de forme arbitraires, placé dans le volume d'essai et déterminée en utilisant cette procédure.

Le  $S_{VSWR}$  est le rapport du signal maximal reçu au signal minimal reçu, entraîné par l'interférence entre les signaux direct (intentionnel) et réfléchis

$$S_{VSWR} = \frac{E_{\max}}{E_{\min}} = \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \quad (14)$$

où  $E_{\max}$  et  $E_{\min}$  sont les signaux reçus maximum et minimum, et  $V_{\max}$  et  $V_{\min}$  sont les tensions mesurées correspondantes, lorsqu'un récepteur ou un analyseur de spectre 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

$$S_{VSWR,dB} = 20 \log \left( \frac{V_{\max}}{V_{\min}} \right) = 20 \log \left( \frac{E_{\max}}{E_{\min}} \right) = V_{\max,dB} - V_{\min,dB} = E_{\max,dB} - E_{\min,dB} \quad (15)$$

NOTE 1 Lorsque les décibels sont utilisés,  $S_{VSWR,dB}$  peut être pris comme la différence entre les signaux détectés maximum et minimum, exprimés en dBm, en dBμV, ou en dBμV/m, suivant l'instrumentation 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 maximum et minimum obtenus à chaque fréquence et polarisation, pour un jeu de six mesures, comme cela est décrit en 8.2.2.

## 8.2.1 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'emplacements depuis 1 GHz jusqu'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 8.2.2.

## 8.2.2 Procédures de validation d'emplacement

Ce paragraphe décrit les procédures requises pour évaluer le  $S_{VSWR}$ .

### 8.2.2.1 Exigences relatives à l'antenne

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 appareils en essai réels, ce paragraphe donne des critères concernant l'équipement utilisé pendant l'essai de  $S_{VSWR}$ . Des données fournies par le constructeur peuvent être utilisées pour déterminer si les exigences sur l'appareillage d'essai sont satisfaites.

#### 8.2.2.1.1 Équipement d'essai pour la procédure $S_{VSWR}$ standard (8.2.2.3)

Il faut que l'antenne de réception soit polarisée linéairement, et elle doit être du même type que celle utilisée pour les mesures d'émissions de l'appareil en essai. Pour l'antenne d'émission, l'angle de référence à  $0^\circ$  relatif aux spécifications du diagramme est l'angle pour lequel l'antenne fait face à l'antenne de réception (plans d'ouverture parallèles); cela est également réputé comme étant la direction de la « ligne de visée »  $B$ .

L'antenne utilisée comme source d'émission doit être polarisée linéairement et doit avoir un diagramme de rayonnement semblable à celui d'un dipôle, avec les caractéristiques détaillées suivantes. Les données du diagramme de rayonnement doivent être disponibles avec des pas de fréquence inférieurs ou égaux à 1 GHz <sup>3)</sup>.

##### 8.2.2.1.1.1 Diagramme de rayonnement du plan E de l'antenne d'émission

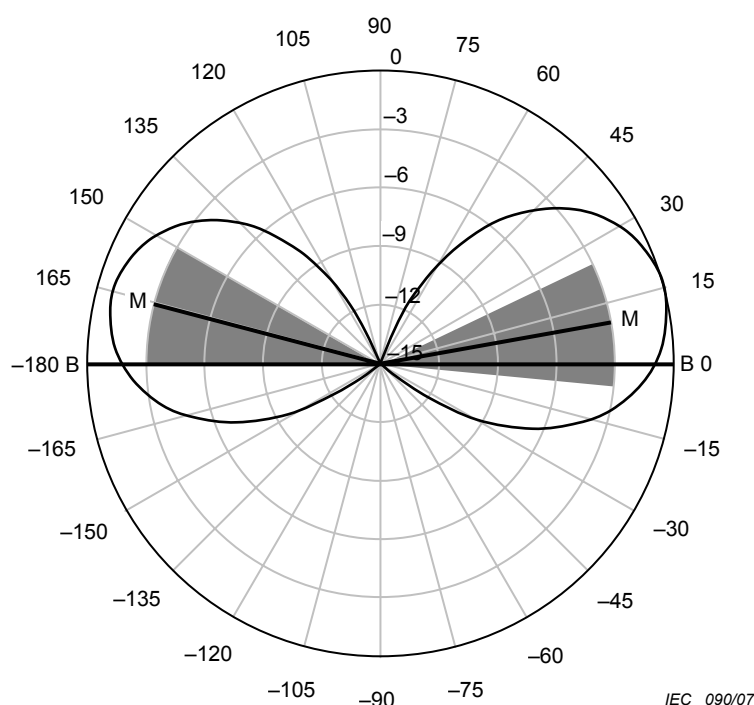
Un diagramme de rayonnement du plan E pour une antenne avec une polarisation linéaire simple peut être mesuré à l'un des multiples plans de coupe (angle azimutal constant) autour de la sphère de rayonnement. Le plan de coupe pour les mesures du diagramme doit être sélectionné par le constructeur de l'antenne et doit être décrit dans le rapport de caractérisation de l'antenne. Un choix pratique est typiquement le plan contenant le connecteur et le cheminement du câble.

- Choisir une direction de lobe principal  $M$  pour les cotés droit et gauche de chaque diagramme.  $M$  doit être respectivement entre  $0^\circ \pm 15^\circ$  et  $180^\circ \pm 15^\circ$ .
- Dessiner la zone réputée interdite symétrique aux directions des lobes principaux sur les deux côtés du diagramme<sup>4)</sup> où l'amplitude est  $\leq -3$  dB pour  $\pm 15^\circ$ .
- Le diagramme du plan E ne doit pas entrer dans la zone interdite.

<sup>3)</sup> On suppose que l'antenne satisfait également aux exigences à d'autres fréquences utilisées pour l'essai du  $S_{VSWR}$ .

<sup>4)</sup> Cette limite garantit un diagramme régulier dans la région de la ligne de visée et un comportement omnidirectionnel acceptable.

La Figure 15 donne un exemple de diagramme de rayonnement qui satisfait aux exigences précédentes du plan E.



NOTE Le tracé exemple est pour une antenne qui satisfait aux exigences du plan E de 8.2.2.1.1.1 Les directions des lobes principaux, *M*, pour les côtés droit et gauche de chaque diagramme sont situées respectivement entre  $0^\circ \pm 15^\circ$  et  $180^\circ \pm 15^\circ$ . Les zones grisées représentent les "zones interdites" où l'amplitude serait  $\leq -3$  dB pour chacun des lobes principaux. Le diagramme d'antenne ne pénètre pas la zone interdite.

**Figure 15 – Exemple de diagramme de rayonnement du plan E d'une antenne d'émission (à titre informatif uniquement)**

#### 8.2.2.1.1.2 Diagramme de rayonnement du plan H de l'antenne d'émission

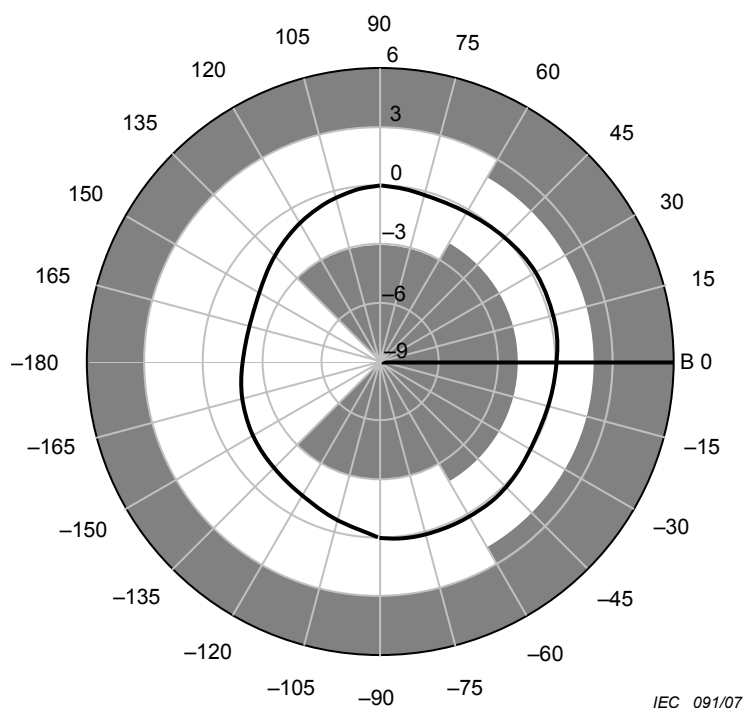
Il n'y a qu'un plan possible dans lequel on peut mesurer le diagramme du plan H d'une antenne dipôle, qui est le plan orthogonal à l'axe du dipôle et qui passe par le centre du dipôle. Ce plan peut inclure un symétriseur, un connecteur d'entrée et le câble d'entrée, suivant si un câble métallique ou une fibre optique est utilisé. 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 radiation (en dB) au dessus de la plage  $\pm 135^\circ$  ( $0^\circ$  est l'angle de la ligne de visée) La taille maximale d'incrément pour les données de ce diagramme est de  $5^\circ$  dans la bande de fréquences de 1 GHz à 6 GHz et de  $1^\circ$  pour la bande de fréquences de 6 GHz à 18 GHz.
- Le diagramme ne doit pas dépasser les déviations suivantes de la valeur moyenne de  $\pm 135^\circ$ .

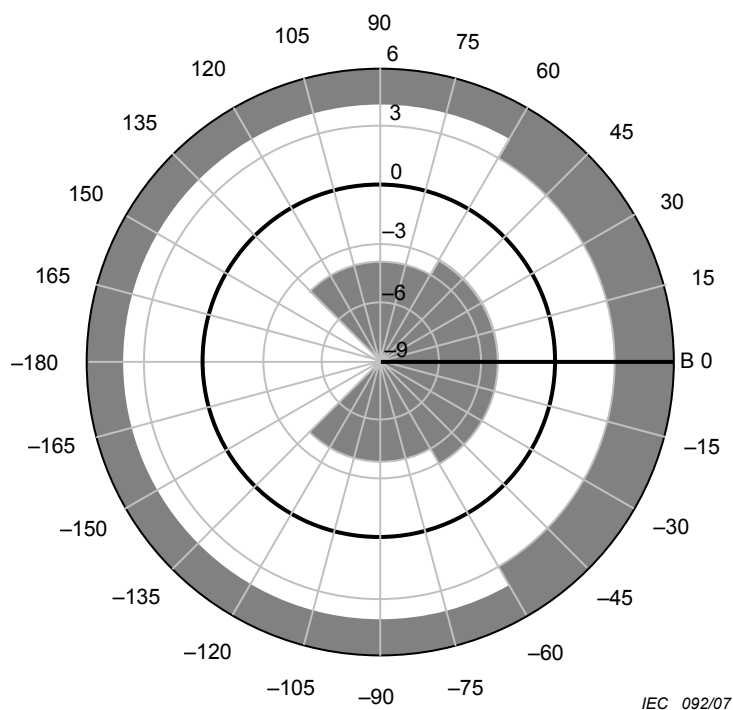
| Plage d'angle                                           | 1 GHz à 6 GHz | 6 GHz à 18 GHz |
|---------------------------------------------------------|---------------|----------------|
| $-60^\circ$ to $60^\circ$                               | $\pm 2$ dB    | $\pm 3$ dB     |
| $-60^\circ$ à $-135^\circ$ , $60^\circ$ à $135^\circ$   | $\pm 3$ dB    | $\pm 4$ dB     |
| $-135^\circ$ à $-180^\circ$ , $135^\circ$ à $180^\circ$ | $< +3$ dB     | $< +4$ dB      |

NOTE Bien qu'une limite inférieure du diagramme du plan H ne soit pas spécifiée à l'extérieur de  $\pm 135^\circ$ , il est souhaitable que celui-ci ne présente pas une annulation à  $\pm 180^\circ$ , mais soit le plus omnidirectionnel possible. Il convient de suivre les directives données par le fabricant d'antenne, le cas échéant, relatives au cheminement du câble d'alimentation et du positionnement du mât de l'antenne, pour minimiser l'influence éventuelle de ces éléments sur le diagramme du plan H, à l'extérieur de  $\pm 135^\circ$ .

La Figure 16 donne un exemple de diagramme de rayonnement qui satisfait aux exigences précédentes du plan H.



**Figure 16a – 1 GHz à 6 GHz**



**Figure 16b – 6 GHz à 18 GHz**

NOTE Le tracé exemple est pour une antenne qui satisfait les exigences du plan H. Les zones grisées représentent les déviations maximales autorisées indiquées en 8.2.2.2.1.1.2. Cet exemple d'antenne satisfait aux exigences parce que le diagramme n'entre pas dans les régions grisées.

**Figure 16 – Exemple de diagramme de rayonnement du plan H d'une antenne d'émission (à titre informatif uniquement)**

### 8.2.2.1.2 Équipement d'essai pour la procédure $S_{VSWR}$ réciproque (8.2.2.4)

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 isotropie de 3 dB ou mieux.

### 8.2.2.2 Positions requises pour l'essai de validation de l'emplacement

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'appareil en essai. Le haut du cylindre est choisi en fonction de la hauteur maximale qu'un appareil en essai et celle que son câblage pourra occuper à la verticale. Le diamètre du cylindre est le plus grand diamètre requis pour recevoir un appareil en essai avec ses câbles. Pour les câbles qui sortent du volume d'essai, une section de 30 cm de ces câbles doit être supposée pour établir les dimensions du volume. Pour s'adapter à des équipements placés au sol qui ne peuvent pas être surélevés de la surface sur laquelle ils reposent, il est admis que l'éclairage du volume d'essai sur une hauteur pouvant atteindre 30 cm du bas du volume d'essai soit obstrué par des absorbants placés sur le plan de sol. Selon la procédure de 8.2.2.3, le  $VSWR$  ( $S_{VSWR}$ ) de l'emplacement est estimé en plaçant l'antenne de réception à la position pour laquelle le volume doit être validé et en déplaçant la source d'émission le long de positions définies. Ou bien, en utilisant la procédure réciproque  $S_{VSWR}$  de 8.2.2.4 ci-dessous, les positions décrites dans ce paragraphe sont utilisées pour le placement de la sonde de champ dans le volume d'essai.

Les localisations requises pour effectuer les mesures de  $S_{VSWR}$  dépendent des dimensions du volume d'essai. Les détails des exigences sur les localisations conditionnelles d'essai sont fournis en 8.2.2.5. Le  $S_{VSWR}$  est estimé pour chaque endroit requis et chaque polarisation requise par une séquence de six mesures le long d'une ligne allant au point de référence de l'antenne de réception. Toutes les localisations possibles nécessaires sont illustrées aux Figures 17 et 18, y compris les localisations conditionnelles décrites en 8.2.2.5. La séquence des six mesures le long de la ligne allant à l'antenne de réception est indiquée dans ces figures par des points.

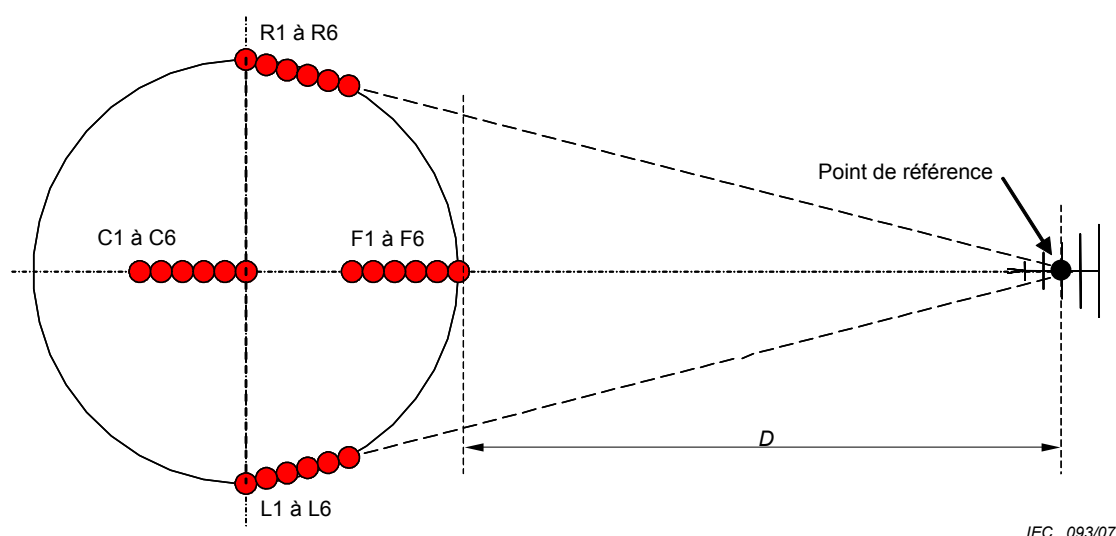


Figure 17 – Positions de mesure de  $S_{VSWR}$  dans un plan horizontal – voir description en 8.2.2.2.1

#### 8.2.2.2.1 Description des positions de mesure de $S_{VSWR}$ dans un plan horizontal (Figure 17)

- a) Positions avant 1-6 (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 à la distance d'essai,  $d$ , à partir de l'antenne de réception.

F5 à F1 sont mesurées 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 droites 1-6 (R1 à R6). Ces positions sont localisées par rapport à la position R6. R6 est trouvée en déterminant l'extrémité 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 la Figure 17).

Les positions R5 à R1 sont mesurées 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 gauches 1-6 (L1 à L6). Ces positions sont localisées par rapport à la position L6. L6 est trouvée en déterminant l'extrémité 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 la Figure 17).

Les positions L5 à L1 sont mesurées 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 1-6 (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 ne sont requises pour les essais que lorsque le volume d'essai a un diamètre supérieur à 1,5 m (voir 8.2.2.5).

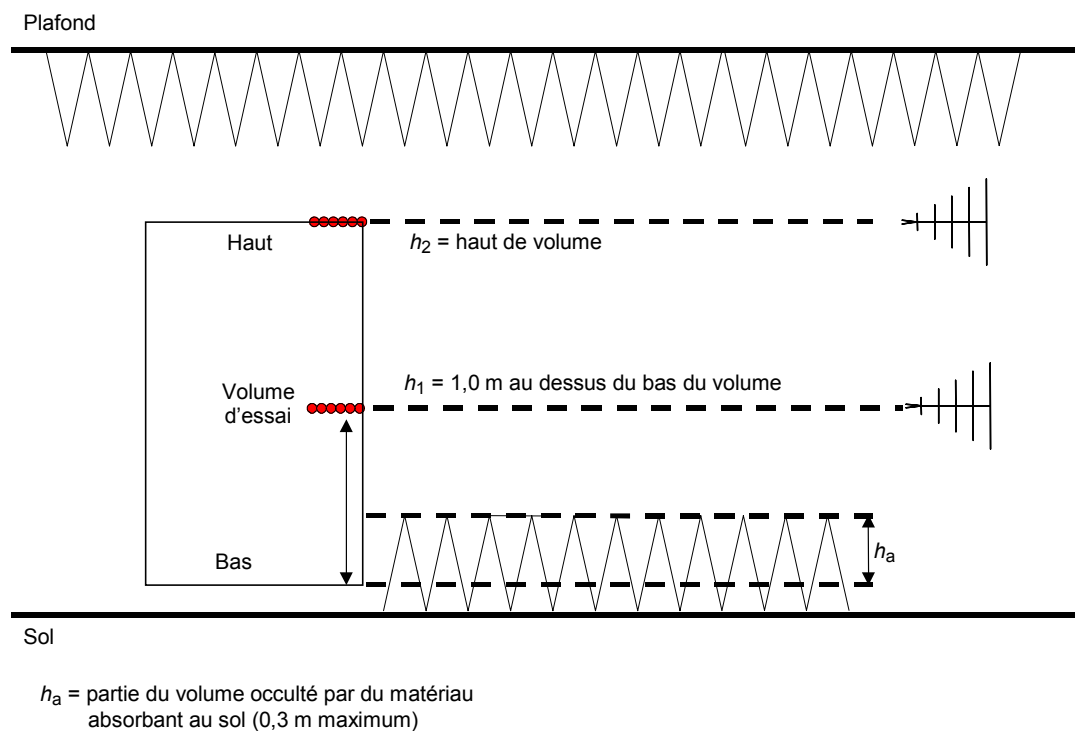
C5 à C1 sont mesurés par rapport à C6, en s'éloignant de l'antenne de réception, de la manière suivante:

- 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)  $C2 = C6 + 30$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception
- 5)  $C1 = C6 + 40$  cm en s'éloignant de l'antenne de réception

#### 8.2.2.2.2 Description des positions additionnelles de mesure de $S_{VSWR}$ (Figure 18)

Outre les localisations indiquées à la Figure 17, 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 18 illustre l'exigence additionnelle en hauteur pour les mesures de  $S_{VSWR}$ . L'essai à la seconde hauteur doit être réalisé sur la position avant uniquement.



#### Légende

- $h_a$  partie du volume d'essai occultée par un matériau absorbant placé sur le sol (30 cm maximum)
- $h_1$  hauteur située au milieu du volume d'essai, ou à 1,0 m au-dessus du bas du volume d'essai, la plus petite valeur étant considérée.
- $h_2$  hauteur située au sommet du volume d'essai; elle est requise pour faire des mesures si elle est distante d'au moins 0,5 m de  $h_1$  (voir 8.2.2.5 pour les détails).

**Figure 18 – Positions de  $S_{VSWR}$  (exigences en hauteur)**

Le Tableau 5 fournit un résumé des positions d'essai. Dans le Tableau 5, les positions sont groupées selon les hauteurs ( $h_1$ ,  $h_2$ ) et la localisation (avant, gauche, droite, centre). Pour chaque localisation, une position de référence est désignée pour être utilisée dans les calculs requis par l'Equation (16).

**Tableau 5 – Positions d'essai de  $S_{VSWR}$**

| Nom de la position                                                                                   | Emplacement | Hauteur | Polarisation | Position de référence pour $D_{ref}$ [voir Equation (13)] | Emplacement par rapport à la position de référence |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|--------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Positions avant (Avant, <math>h_1</math>) à la première hauteur</b>                               |             |         |              |                                                           |                                                    |
| 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, $h_1$ )            |
| <b>Positions centre (Centre, <math>h_1</math>) à la première hauteur (si requises: voir 8.2.2.5)</b> |             |         |              |                                                           |                                                    |
| 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 $D_{ref}$<br>[voir Equation (13)] | Emplacement par rapport à la position de référence                             |
|-----------------------------------------------|-------------|---------|--------------|--------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Positions droite à la première hauteur</b> |             |         |              |                                                              |                                                                                |
| 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, $h_1$ )                                       |
| <b>Positions gauche à la première hauteur</b> |             |         |              |                                                              |                                                                                |
| 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 Equation (13)] | Emplacement par rapport à la position de référence |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|---------|--------------|-----------------------------------------------------------|----------------------------------------------------|
| <b>Positions avant à la deuxième hauteur (si requises – voir 8.2.2.5)</b>                         |             |         |              |                                                           |                                                    |
| 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 Les mesures $S_{VSWR}$ énoncées ci-dessus peuvent être effectuées dans n'importe quel ordre. |             |         |              |                                                           |                                                    |

### 8.2.2.3 Validation d'emplacement $S_{VSWR}$ – procédure standard d'essai

Dans la procédure qui suit, les positions sont désignées par  $P_{mnopq}$ , où les indices correspondent aux noms des positions telles que listées dans la première colonne du Tableau 5. Le signal mesuré,  $M$ , est le champ électromagnétique reçu ou la mesure de tension à chacune des positions, et est désigné de la même manière par des indices tels que  $M_{mnopq}$ . Par exemple,  $P_{F1h1H}$ , 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 à la position avant n° 6, hauteur n° 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 à la même hauteur que 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 plage 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.
- Enregistrer le niveau de signal mesuré,  $M_{F6h1H}$  pour chacune des fréquences. La mesure peut être faite par balayage ou par incrémentation de pas de fréquence. Si l'incrémentation est utilisée, les incréments de fréquence doivent être de 50 MHz ou inférieurs.
- Répéter les étapes a) et b) avec la source d'émission aux cinq autres positions données par le Tableau 6 (8.2.2.6) pour les conditions avant, hauteur 1, polarisation horizontale. Au total, il y aura six mesures pour avant, hauteur 1, polarisation horizontale (de  $M_{F1h1H}$  à  $M_{F6h1H}$ ) qui diffèrent par la distance de séparation à partir de l'antenne de réception, avec les incréments donnés par 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  $P_{F6h1V}$ , afin d'obtenir  $M_{F1h1V}$  à  $M_{F6h1V}$ .
- f) Pour l'ensemble des mesures, normaliser le champ électromagnétique ou les données de tension mesurés à la distance de la position de référence énoncée au Tableau 5 en utilisant l'Equation (16):

$$M'_{mnopq} = M_{mnopq} + 20 \log \left( \frac{D_{mnopq}}{D_{ref}} \right) \text{ (dB)} \quad (16)$$

où  $D_{mnopq}$  est la distance réelle de séparation pour la position de mesure,  $D_{ref}$  est la distance de séparation mesurée par rapport à la position de référence et  $M_{mnopq}$  est le signal mesuré (champ électromagnétique ou tension du récepteur) en décibels. Il convient de noter que chaque position de mesure a une position de référence différente correspondant à la position 6, comme indiqué dans le Tableau 5 pour  $P_{mnopq}$ .

- g) En utilisant l'Equation (14) ou l'Equation (15), calculer le  $S_{VSWR}$ , pour la polarisation horizontale. En utilisant l'Equation (15), le  $S_{VSWR, dB}$  peut être obtenu en soustrayant le signal minimal reçu,  $M_{min, dB}$ , du signal maximal reçu,  $M_{max, dB}$ , après avoir appliqué les corrections de distance [étape f)], pour les six positions. Répéter les calculs pour les résultats obtenus en utilisant la polarisation verticale.
- h) Le  $S_{VSWR}$  pour chacune des polarisations doit satisfaire aux critères d'acceptation de 8.2.1.
- i) Répéter les étapes a) à h) pour la partie gauche et 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 appareils en essai.
- j) Si cela est requis par 8.2.2.5, répéter la procédure ci-dessus pour les mesures à 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.

#### 8.2.2.4 Validation d'emplacement $S_{VSWR}$ – procédure d'essai réciproque utilisant une sonde de champ isotrope

Pour les installations blindées (c'est-à-dire chambres complètement anéchoïques ou semi-anéchoïques), il est permis de déterminer le  $S_{VSWR}$  au moyen d'une sonde de champ isotrope aux emplacements requis par le 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 «réciproque» de détermination du  $S_{VSWR}$ . Dans cette procédure de  $S_{VSWR}$  réciproque, l'antenne à utiliser ultérieurement comme antenne de réception pour les essais d'émissions de l'appareil en essai est appelée antenne "d'émission" puisqu'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 radiation de 8.2.2.1. La sonde doit pouvoir être alignée avec la polarisation de l'antenne d'émission, c'est-à-dire qu'il faut que la position et l'orientation des éléments sensitifs de la sonde soit connue.

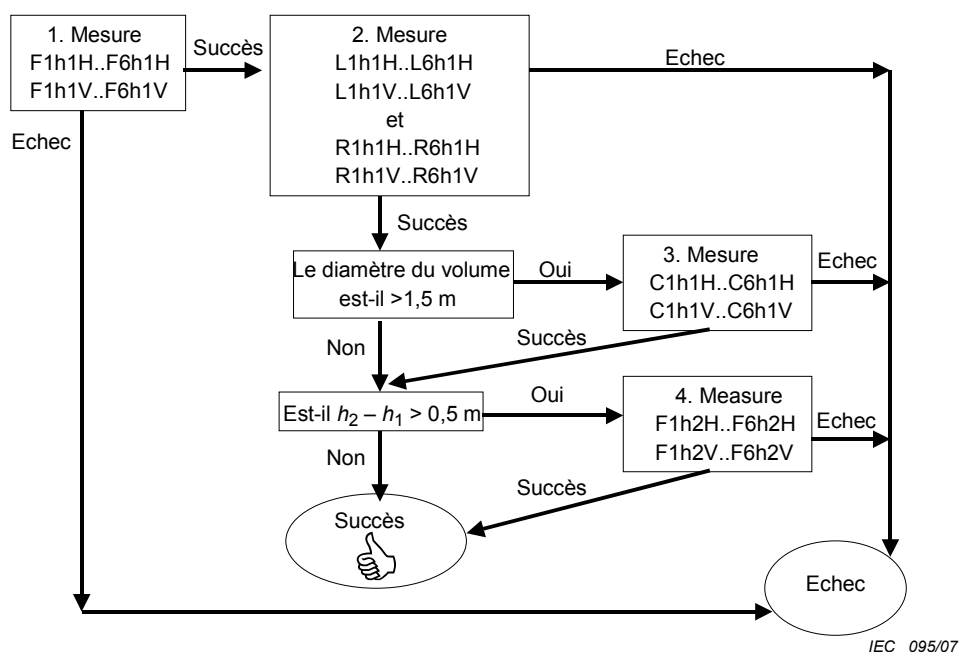
La procédure d'essai réciproque de validation d'emplacement  $S_{VSWR}$  utilisant une sonde de champ isotrope est la suivante:

- a) Placer la sonde de champ à la position avant n° 6, hauteur n°1, en polarisation horizontale ( $P_{F6h1H}$ ). Placer l'antenne d'émission à la distance d'essai  $D$ , mesurée du périmètre du volume d'essai 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 de l'intensité du champ est suffisante pour permettre le fonctionnement correct de la sonde. Pour les recommandations sur les équipements et les procédures nécessaires à l'établissement des intensités de champ appropriées, se référer aux manuels d'utilisation de la sonde (sensibilité et incertitude de mesure adéquates). En outre, il convient que la linéarité du système transmission + sonde soit vérifiée, et les harmoniques doivent être supprimées jusqu'à un niveau d'au moins 15 dB inférieur au signal primaire. L'utilisation d'un coupleur directionnel est recommandée pour surveiller la puissance incidente pendant l'essai, car des variations du niveau de la puissance de sortie entraîneront des variations du résultat d'essai. Il est important de fournir des signaux de sortie stables, car de chaque variation de signal causée par l'instabilité de la source de signal (par exemple mauvais raccordements des câbles, variation dues au temps de préchauffage du préamplificateur, etc.) il résultera des variations additionnelles des résultats (c'est-à-dire des résultats de  $S_{VSWR}$  artificiellement élevés).
- c) Enregistrer le niveau de signal mesuré,  $M_{F6h1H}$ , pour chacune des fréquences. La mesure peut être faite par balayage ou par incrémentation de pas de fréquence. Si l'incrément est utilisé, les incréments de fréquence doivent être de 50 MHz ou inférieurs.
- d) Répéter l'étape c) avec la sonde de champ aux 5 autres positions données par le Tableau 6 (8.2.2.6) pour les conditions avant, hauteur 1, polarisation horizontale. Au total, il y aura six mesures pour avant, hauteur 1, polarisation horizontale (de  $M_{F1h1H}$  à  $M_{F6h1H}$ ) qui diffèrent par la distance de séparation à partir de l'antenne de réception, avec les incréments donnés par 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 chacune des mesures, normaliser les données obtenues en utilisant l'Equation (16).
- g) En utilisant l'Equation (14) ou Equation (15), calculer le  $S_{VSWR}$ , pour la polarisation horizontale. En utilisant l'Equation (15), le  $S_{VSWR, dB}$  peut être obtenu en soustrayant le signal minimal reçu,  $M_{min, dB}$ , du signal maximal reçu,  $M_{max, dB}$ , après avoir appliqué les corrections de distance [étape f)], pour les six positions. Répéter les calculs pour les résultats obtenus en utilisant la polarisation verticale.
- h) Le  $S_{VSWR}$  pour chacune des polarisations doit satisfaire aux critères d'acceptation de 8.2.1.
- i) Répéter la procédure ci-dessus pour la partie gauche et droite du volume d'essai. Noter que pour la procédure  $S_{VSWR}$  réciproque, la sonde peut être réglée pour maintenir 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 appareils en essai.
- j) Si cela est requis par 8.2.2.5, répéter la procédure ci-dessus pour les mesures à la position centrale, et pour 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.

### 8.2.2.5 Exigences relatives aux positions d'essai conditionnelles

Comme indiqué par les Figures 17, 18 et le Tableau 5, des essais à des positions supplémentaires sont demandés en fonction des dimensions du volume d'essai. La Figure 19 présente un organigramme spécifiant quand ces mesures additionnelles sont requises.



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 19 – Exigences relatives aux positions d'essai conditionnelles**

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 de la polarisation horizontale et verticale, en utilisant les procédures de 8.2.2.3 ou 8.2.2.4.

#### 8.2.2.6 Rapport d'essai de validation d'emplacement $S_{VSWR}$

Le Tableau 6 présente un récapitulatif de toutes les mesures et calculs possibles de  $S_{VSWR}$  requis, y compris les résultats relatifs aux positions exigées et aux positions conditionnelles de 8.2.2.5.

**Tableau 6 – Exigences sur les rapports de  $S_{VSWR}$**

| Emplacement | Hauteur | Polarisation | Type         | $S_{VSWR}$<br>dB                                                                        |
|-------------|---------|--------------|--------------|-----------------------------------------------------------------------------------------|
| Avant       | $h_1$   | Horizontal   | Exigé        | $= \text{Max} (S'_{F1h1H} \dots S'_{F6h1H}) - \text{Min} (S'_{F1h1H} \dots S'_{F6h1H})$ |
| Avant       | $h_1$   | Vertical     | Exigé        | $= \text{Max} (S'_{F1h1V} \dots S'_{F6h1V}) - \text{Min} (S'_{F1h1V} \dots S'_{F6h1V})$ |
| Droite      | $h_1$   | Horizontal   | Exigé        | $= \text{Max} (S'_{R1h1H} \dots S'_{R6h1H}) - \text{Min} (S'_{R1h1H} \dots S'_{R6h1H})$ |
| Droite      | $h_1$   | Vertical     | Exigé        | $= \text{Max} (S'_{R1h1V} \dots S'_{R6h1V}) - \text{Min} (S'_{R1h1V} \dots S'_{R6h1V})$ |
| Gauche      | $h_1$   | Horizontal   | Exigé        | $= \text{Max} (S'_{L1h1H} \dots S'_{L6h1H}) - \text{Min} (S'_{L1h1H} \dots S'_{L6h1H})$ |
| Gauche      | $h_1$   | Vertical     | Exigé        | $= \text{Max} (S'_{L1h1V} \dots S'_{L6h1V}) - \text{Min} (S'_{L1h1V} \dots S'_{L6h1V})$ |
| Centre      | $h_1$   | Horizontal   | Conditionnel | $= \text{Max} (S'_{C1h1H} \dots S'_{C6h1H}) - \text{Min} (S'_{C1h1H} \dots S'_{C6h1H})$ |
| Centre      | $h_1$   | Vertical     | Conditionnel | $= \text{Max} (S'_{C1h1V} \dots S'_{C6h1V}) - \text{Min} (S'_{C1h1V} \dots S'_{C6h1V})$ |
| Avant       | $h_2$   | Horizontal   | Conditionnel | $= \text{Max} (S'_{F1h2H} \dots S'_{F6h2H}) - \text{Min} (S'_{F1h2H} \dots S'_{F6h2H})$ |
| Avant       | $h_2$   | Vertical     | Conditionnel | $= \text{Max} (S'_{F1h2V} \dots S'_{F6h2V}) - \text{Min} (S'_{F1h2V} \dots S'_{F6h2V})$ |

Les calculs de  $S_{VSWR}$  ci-dessus et les exigences liées au rapport s'appliquent à chacune des fréquences d'essai.

### 8.2.2.7 Limites de la méthode de validation d'emplacement $S_{VSWR}$

Les points de mesure choisis pour 8.2.2.2 et contenus dans les procédures ci-dessus ont pour objet de fournir une mesure d'ensemble du  $S_{VSWR}$  de l'emplacement d'essai pour toute la bande de fréquences de 1 GHz à 18 GHz. Noter cependant que le  $S_{VSWR}$  maximal ne peut pas toujours être obtenu par les procédures de 8.2.2.3 ou 8.2.2.4, à une fréquence spécifique  $f$  quelconque. Par conséquent, il convient d'éviter les énoncés de conformité  $S_{VSWR}$  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 présentées aux Figures 17 et 18. Il est recommandé que les points additionnels de collecte de données soient espacés de manière inégale, et choisis en se basant sur une translation en distance de l'antenne source (ou de la sonde de champ pour la méthode de  $S_{VSWR}$  réciproque) en utilisant des incréments à des quarts de longueur d'onde de la fréquence considérée.

### 8.3 Autres emplacements d'essai possibles

Tout emplacement de mesure qui satisfait aux conditions d'espace libre est un emplacement d'essai possible.

## 9 Dispositifs d'absorption de mode commun

### 9.1 Généralités

Les dispositifs d'absorption de mode commun (CMAD) 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 sites d'essai, dues à des différences de valeurs d'impédance de mode commun et de symétrie au point où les câbles quittent le site d'essai (par exemple centre d'une table tournante). Les caractéristiques fondamentales des CMAD peuvent être exprimées en termes de paramètres-S. Des valeurs de performance dérivées 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 de paramètre-S de 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 21. 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 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 21. 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 du 9.4. Des exemples d'adaptateurs sont représentés aux Figures 22 à 24.

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 typiques 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 21). Il convient que les distances entre les plans de référence et les extrémités de 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  $(L_{\text{montage}} + 4h)$  et une largeur supérieure à  $4h$ .

L'impédance caractéristique,  $Z_{\text{réf}}$ , 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,  $h$ :

$$Z_{\text{réf}} = \frac{Z_0}{2\pi} \cosh^{-1}\left(\frac{2h}{d}\right) \text{ in } \Omega \quad (17)$$

où

$Z_0$  est l'impédance en espace libre ( $120 \pi$ ) en  $\Omega$ ;

$d$  est le diamètre du conducteur d'essai (défini comme égal à 4 mm);

$h$  est la hauteur du centre du conducteur d'essai au-dessus du plan de masse.

EXEMPLE Les valeurs types de  $Z_{\text{réf}}$  pour différentes hauteurs  $h$  sont:

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

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

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

## 9.4 Méthode de mesure utilisant l'étalonnage TRL

La méthode d'étalonnage TRL est recommandée pour la mesure des 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 21). L'étalonnage exige une tige métallique (désignée "ligne") de même diamètre et à la même hauteur que la partie «ligne de transmission» du montage. L'impédance et la longueur caractéristiques de la partie «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 diviser-par-zéro (ou des valeurs très faibles) 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:

$$f_L = 0,05 \frac{c}{L} \quad (18)$$

$$f_H = 0,45 \frac{c}{L} \quad (19)$$

où  $c$  est égal à  $3 \times 10^8$  m/s. Une longueur de "ligne" de 0,6 m est appropriée pour l'étalonnage dans la gamme de fréquences comprises entre 30 MHz et 200 MHz. Si la mesure doit être étendue à des fréquences supérieures, un second étalonnage de "Ligne" est nécessaire. Un second étalonnage avec une longueur de "Ligne" de 0,12 m serait approprié pour la gamme de fréquences comprises entre 150 MHz et 1 000 MHz.

Quatre configurations d'étalonnage sont nécessaires pour la méthode d'étalonnage TRL:

- "Réflexion" (Accès A): Mesure de la valeur complexe  $S_{11}$  de la section d'adaptation et de l'adaptateur à l'accès 1 sans autre connexion (simulant une condition de circuit ouvert) [Figure 25 a)]
- "-Réflexion" (Accès B): Mesure de la valeur complexe  $S_{22}$  de la section d'adaptation et de l'adaptateur à l'accès 2 sans autre connexion (simulant une condition de circuit ouvert) [Figure 25 b)]
- "-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 ligne intercalée) [Figure 25 c)]
- "Ligne": Mesure des valeurs complexes  $S_{11}$ ,  $S_{12}$ ,  $S_{21}$ ,  $S_{22}$  avec introduction de la section ligne [Figure 25 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 TRL. Si le VNA n'incorpore pas l'étalonnage TRL, les corrections nécessaires peuvent être effectuées indépendamment du VNA conformément à la procédure décrite dans la CISPR 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 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 plage de fréquences supérieures 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 est un ensemble de quatre paramètres  $S$  référencés par rapport à l'impédance caractéristique de la section de ligne de transmission (montage vide),  $Z_{0\_montage}$ .

### 9.5 Vérification de la performance (dégradation) des CMAD en utilisant un analyseur de spectre (*spectrum analyser* – SA) et un générateur de poursuite (*tracking generator* – TG)

Les paramètres- $S$  complexes d'un CMAD ne peuvent pas être mesurés sans 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 aux instruments 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 instrumental mesure seulement l'amplitude de la perte d'insertion, mais cette valeur mesurée ne sera pas directement liée aux paramètres- $S$  mesurés aux plans de référence représentés à la Figure 21. Néanmoins, un laboratoire de CEM peut répéter périodiquement la même mesure de perte d'insertion avec son montage maison 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 de 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 du 9.4.

Toute conception d'adaptateur (Figures 22 à 24) peut être utilisée pour cette vérification de performance/dégradation. 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 la vérification des performances.

Lorsque des adaptateurs en 50  $\Omega$  sont utilisés (Figure 22), la mesure de la perte d'insertion pour la vérification des performances/de la dégradation est la différence en dB entre les mesures d'affaiblissement pour les deux configurations suivantes:

- a) Configuration 1: connexion directe des deux atténuateurs sans le montage d'essai.
- b) Configuration 2: les deux atténuateurs connectés au montage d'essai avec le CMAD inclus.

Si des adaptateurs d'impédance (Figure 23 ou Figure 24) sont utilisés, 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:

- a) Configuration 1: les deux atténuateurs connectés au montage d'essai sans le CMAD (montage vide);
- b) Configuration 2: les deux atténuateurs connectés au montage d'essai avec le CMAD inclus.

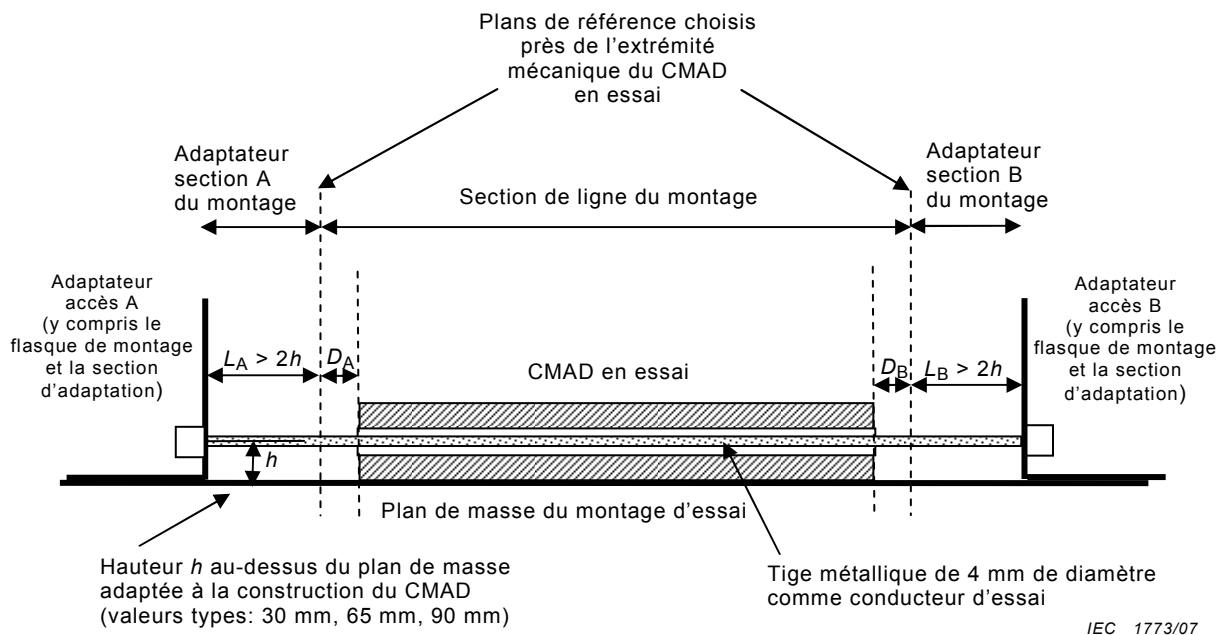
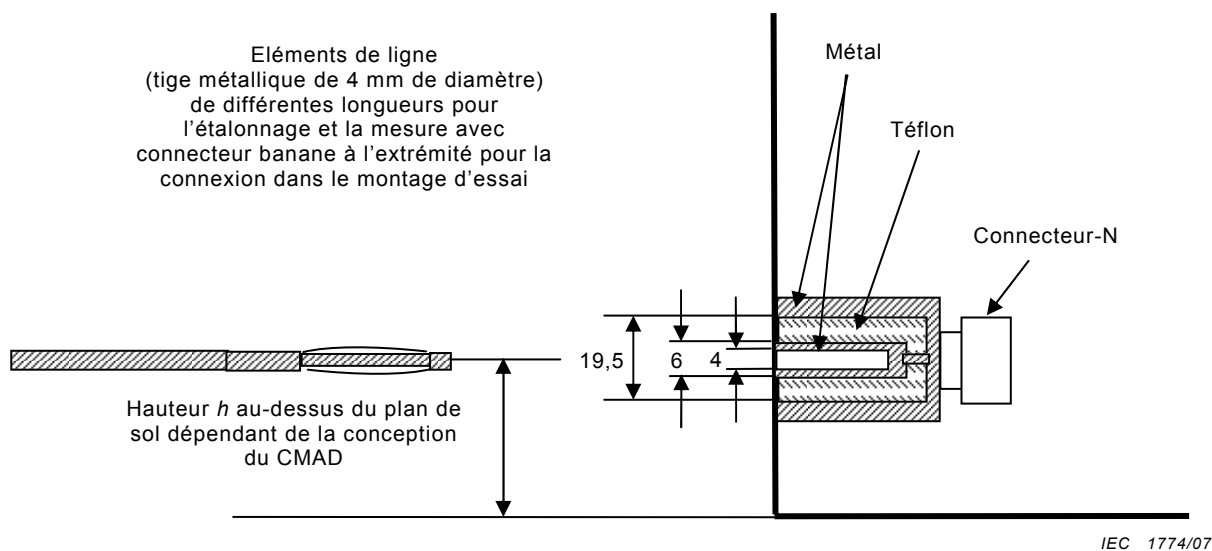


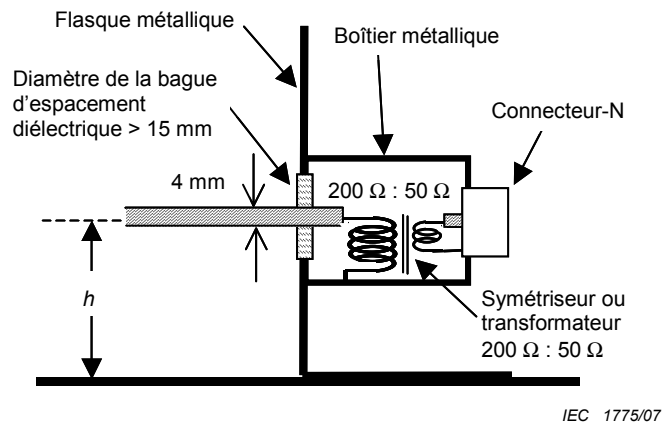
Figure 21 – Définition des plans de référence à l'intérieur du montage d'essai

Dimensions en mm



Les côtés inférieurs du flasque vertical doivent être reliés électriquement au plan de sol métallique

Figure 22 – Exemple de conception d'adaptateur 50  $\Omega$  dans le flasque vertical du montage



Si la prise centrale de l'accès symétrique est reliée au boîtier du symétriseur, il faut la déconnecter.

Figure 23 – Exemple d'un adaptateur d'impédance avec symétriseur ou transformateur

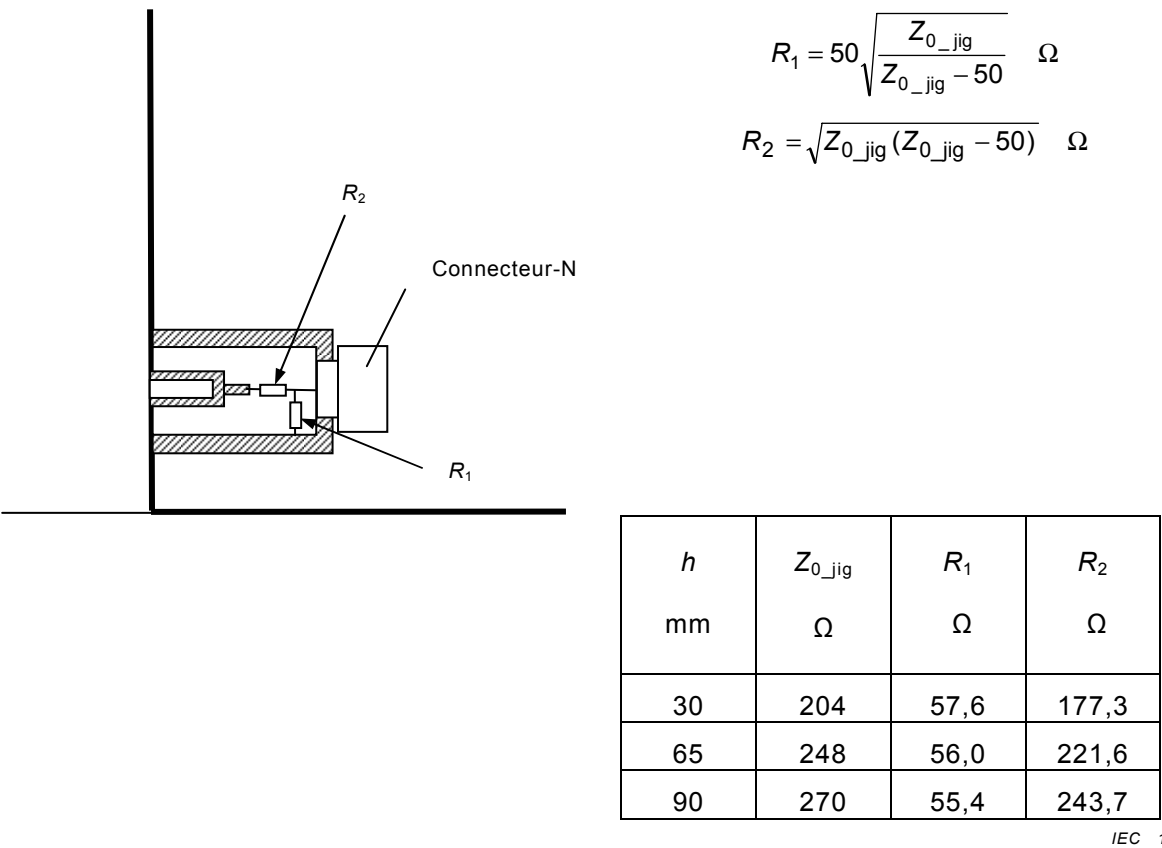
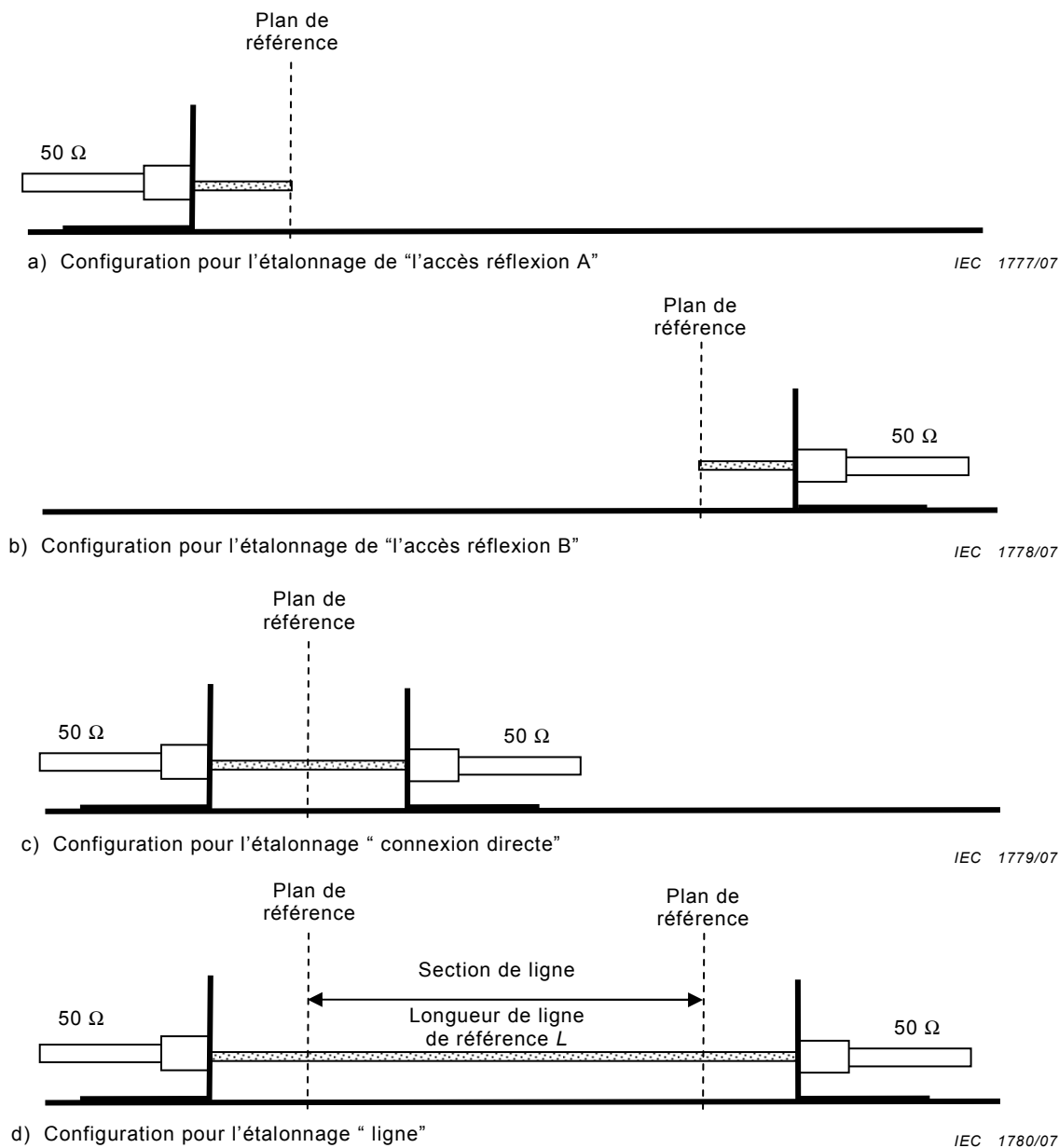


Figure 24 – Exemple d'un adaptateur d'impédance avec réseau résistif



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 doit être choisie selon la gamme de fréquences.

**Figure 25 – Les quatre configurations pour l'étalonnage TRL**

## **Annexe A** (normative)

### **Paramètres des antennes**

#### **A.1 Introduction**

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 de 50  $\Omega$ , le facteur d'adaptation, 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 pour 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**

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 dans 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 du 4.1. Les antennes à faible incertitude sont décrites en A.2.2.

##### **A.2.1 Antenne calculable**

Le doublet standard calculable fournit l'incertitude la plus faible pour le 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 la modélisation électromagnétique numérique largement disponible, le facteur d'antenne d'une longueur de doublet unique peut être calculé sur une fréquence large 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.2.2 Antennes à faible incertitude**

Les antennes à faible incertitude sont les antennes biconiques et log-périodiques à doublet, 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 du 4.4.4 et tout symétriseur doit satisfaire aux exigences énoncées au 4.4.3. 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 log-périodique à doublet sur la gamme de fréquences de 250 MHz à 1 GHz. Ce qui explique cette fréquence de convergence, c'est que l'antenne log-périodique à doublet 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 log-périodiques à doublet peut être comprise entre 200 MHz et 250 MHz avec une légère augmentation de l'incertitude de centre de phase associée aux antennes log-périodiques 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 log-périodiques à doublet, 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), 6 éléments filaires formant un cône, le diamètre le plus important étant d'environ 0,52 m. Le symétriseur doit être de  $200 \Omega$  (rapport de transformateur  $200 \Omega / 50 \Omega$ ), ce qui assure une meilleure sensibilité à 30 MHz et un couplage mutuel avec l'environnement qui soit inférieur.

NOTE L'antenne biconique est basée sur le modèle original de la norme MIL STD 461A, conçue pour fonctionner de 20 MHz à 200 MHz. La conception avec élément démontable donne de meilleures performances que la conception avec élément « prismatique » au-delà de 250 MHz.

L'antenne log-périodique à doublet à faible incertitude est conçue pour avoir une fréquence de 200 MHz comme valeur la plus faible (c'est-à-dire, l'élément le plus long est résonant 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 étant résonants au-delà de 1 GHz. La raison pour laquelle il n'y a pas l'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 (avec toute augmentation importante 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 Doublets simples

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 en 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 l'affaiblissement d'insertion de site entre une paire de doublets similaires au-dessus d'un plan de sol (en conformité avec l'Annexe D) et en le comparant avec le couplage calculé, autorisant l'affaiblissement des symétriseurs – voir Annexe C de la CISPR 16-1-5. Un inconvénient d'un doublet accordé est sa grande longueur à l'extrémité inférieure de la gamme de fréquences, par exemple il a une longueur de 4,8 m à 30 MHz, ce qui à une distance de mesure de 3 m induira 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 de 30 MHz polarisé horizontalement 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.3.1 Doublet accordé

Une conception pratique et simple d'un doublet accordé comprend un doublet résonant à 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 à partir de l'équation suivante qui donne le facteur en décibels. Ceci n'inclut pas l'affaiblissement de symétriseur pour lequel une valeur moyennée de 0,5 dB peut être ajoutée au facteur d'antenne; ce facteur d'affaiblissement doit être vérifié.

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

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 résonante, à l'exclusion des antennes log-périodiques à doublet), il est improbable que l'incertitude globale d'utilisation d'un doublet accordé soit inférieure à celle des antennes de faible incertitude de 4.4.1.

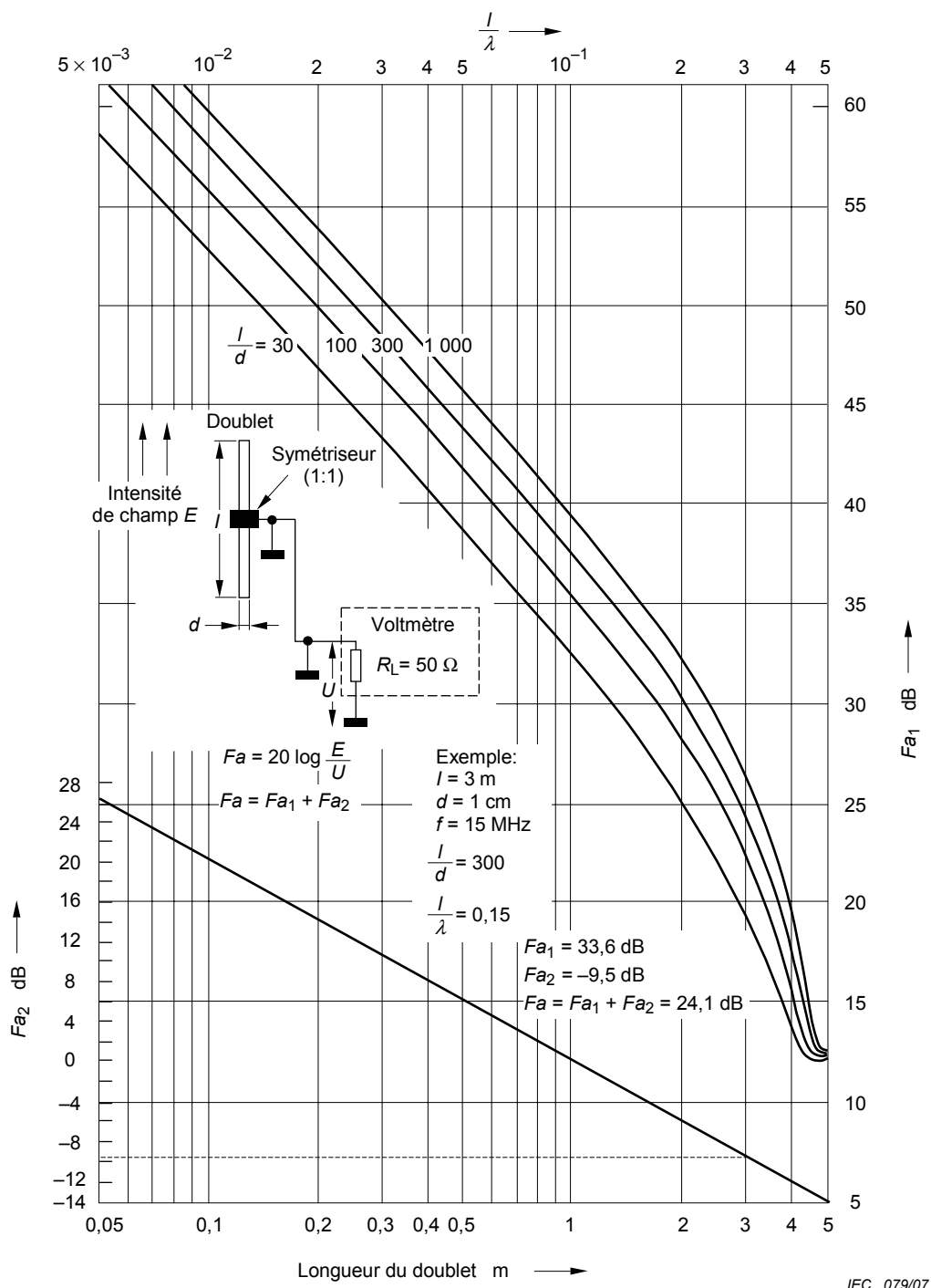
### A.3.2 Doublet court

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 raccordé à un câble suffisamment bien adapté au récepteur pour assurer un facteur d'adaptation à l'entrée du câble d'une valeur supérieure à 10 dB. L'étalonnage doit tenir compte du facteur d'adaptation;
- c) qu'il ait une discrimination de polarisation équivalente à celle d'un doublet accordé (voir 4.4.2). 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 Les facteurs d'antenne ainsi obtenus peuvent permettre de satisfaire à l'exigence de mesure de champs sinusoïdaux uniformes à  $\pm 3$  dB près. 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  $\Omega$  et pour différents rapports  $l/d$ . Sur ces figures, le symétriseur est considéré comme un transformateur idéal de rapport 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.



**Figure A.1 – Facteurs d'antenne des doublets courts pour  $R_L = 50 \Omega$**   
 (voir A.3.2.d) Note)

#### A.4 Paramètres des antennes à large bande

Les antennes à large bande utilisées pour les mesures du CISPR sont les antennes polarisées linéairement et sont destinées à être utilisées dans une bande de fréquences large, malgré la limitation de la gamme d'accord ou le fait que des éléments peuvent être ajoutés ou retirés. L'impédance d'entrée de telles antennes est généralement une grandeur complexe. Les autres paramètres qui peuvent être spécifiés sont donnés ci-dessous.

### **A.4.1 Type d'antenne**

Les paragraphes suivants décrivent les paramètres physiques des antennes à large bande qu'il convient de fournir. Noter que certains paramètres peuvent ne pas s'appliquer à chaque antenne.

#### **A.4.1.1 Style 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 des antennes cadres n'est généralement pas variable.

#### **A.4.1.2 Rapport largeur-profondeur ou diamètre du cadre**

Donner les dimensions en mètres. Par exemple, pour une antenne log-périodique, il convient de donner la longueur de la partie centrale dans l'axe de mesure et la largeur du plus grand élément.

#### **A.4.1.3 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.4.1.4 Disposition de montage**

Donner toute exigence spéciale de montage en plus de celles qui peuvent être remplies à l'aide d'un trépied typique ou d'un positionneur d'antenne.

#### **A.4.1.5 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.4.1.6 Type de symétriseur**

Spécifier si le symétriseur est discret, distribué, accordable, etc. Spécifier le rapport du transformateur symétriseur.

### **A.4.2 Spécification de l'antenne**

#### **A.4.2.1 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 décroissance, si elle existe, des caractéristiques, à chaque extrémité de la gamme (en décibels par octave).

#### **A.4.2.2 Gain et facteur d'antenne**

##### **A.4.2.2.1 Gain**

Spécifier le gain typique ou le gain réel, en décibels par rapport à l'antenne isotrope (dBi).

##### **A.4.2.2.2 Facteur d'antenne**

Spécifier le facteur d'antenne typique ou réel en décibels par mètre. Des procédures d'étalonnage d'antenne sont à l'étude et en cours d'établissement dans la CISPR 16-1-5.

Il convient de mesurer le gain et le facteur d'antenne en utilisant la procédure d'étalonnage donnée en A.2.3.1.

#### **A.4.2.3 Directivité et diagramme pour une 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 moins directives, spécifier le rapport avant/arrière en décibels. Si le diagramme est omnidirectionnel, par exemple un diagramme de doublet hertzien, l'indiquer.

#### **A.4.2.4 Rapport d'ondes stationnaires et impédance**

Indiquer le facteur d'adaptation minimal et l'impédance d'entrée nominale en ohms. Le facteur d'adaptation minimal peut en plus être exprimé comme VSWR maximal.

#### **A.4.2.5 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.4.2.6 Puissance maximale**

Pour l'utilisation en mesure d'immunité, spécifier la puissance maximale permanente et transitoire en watts.

#### **A.4.2.7 Autres conditions**

Spécifier les gammes de température et d'humidité dans lesquelles il faut que l'antenne fonctionne ainsi que toutes les précautions nécessaires pour une utilisation en espace non protégé exposé aux conditions climatiques extérieures.

### **A.4.3 Etalonnage de l'antenne**

#### **A.4.3.1 Méthode d'étalonnage pour la mesure des émissions**

Indiquer la méthode utilisée pour l'étalonnage, c'est-à-dire:

- 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'appareil à mesurer. Par conséquent, il n'est pas nécessaire d'étalonner l'antenne d'émission.

#### **A.4.3.2 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.4.3.3 Précision de l'étalonnage**

Spécifier l'incertitude de l'étalonnage en  $\pm$  décibels. Indiquer la valeur de l'incertitude dans le cas le plus défavorable et la partie de la bande de fréquences correspondante.

#### **A.4.3.4 Corrélation avec les antennes préférentielles ou les antennes spécifiées**

Si l'antenne est destinée à être substituée 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 ramener les résultats obtenus avec l'antenne large bande à ceux obtenus avec l'antenne préférentielle ou avec l'antenne spécifiée. Indiquer également tout facteur de conversion utilisé 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 du champ rayonné.

#### **A.4.3.5 Unités**

Spécifier l'étalonnage dans les unités nécessaires pour effectuer des mesures de champ magnétique ou de champ électrique en émission.

### **A.4.4 Informations pour les utilisateurs de l'antenne**

#### **A.4.4.1 Utilisation de l'antenne**

Fournir des directives pour 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.4.4.2 Limitations physiques**

Indiquer s'il existe des 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. Normalement, l'antenne est limitée par 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'appareil à mesurer et l'élément de l'antenne le plus proche.

## Annexe B (normative)

### Equations donnant les caractéristiques du monopole (antenne fouet de 1 m) et caractérisation du réseau d'adaptation associé à l'antenne <sup>5)</sup>

#### 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 aux fréquences basses de la gamme, 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).

La méthode principale pour rattacher le facteur d'antenne à une référence nationale est d'illuminer toute l'antenne par une onde plane. Cette annexe donne une méthode alternative, la substitution du monopole par capacité équivalente. Bien qu'il soit possible de déterminer le facteur d'antenne par la méthode de substitution par capacité équivalente, cela demande des connaissances d'expert pour obtenir le facteur d'antenne réel à  $\pm 1$  dB pendant la procédure d'étalonnage. C'est spécialement le cas lors de la conception du dispositif de montage pour des types d'antennes dont l'élément monopole ne peut être fixé par un connecteur coaxial. Enfin, la méthode de substitution par capacité équivalente demande un soin particulier aux fréquences supérieures à 10 MHz et pour les antennes actives.

##### B.1.2 Equations 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 la hauteur des antennes fouet ou monopole de dimensions inhabituelles.

Elles sont valables seulement pour des antennes fouet cylindriques plus courtes que  $\lambda/8$  [8]<sup>6)</sup>.

$$h_e = \frac{\lambda}{2\pi} \tan \frac{\pi h}{\lambda} \quad [1], [2], [3] \quad (B.1)$$

$$C_a = \frac{55,6h}{\left(\ln \frac{2h}{a}\right) - 1} \frac{\tan \frac{2\pi h}{\lambda}}{\frac{2\pi h}{\lambda}} \quad [3], [4], [5], [6], [7], [8] \quad (B.2)$$

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

où

$h_e$  est la hauteur effective de l'antenne, en mètres;

$h$  est la hauteur réelle du fouet, en mètres;

$\lambda$  est la longueur d'onde, en mètres;

<sup>5)</sup> Cette annexe est basée sur l'IEEE 291-1991 (voir l'Article B.5).

<sup>6)</sup> Les chiffres entre crochets se réfèrent aux documents de référence cités à l'Article B.5.

$C_a$  est la capacité propre de l'antenne fouet, en picofarads;

$a$  est le rayon du fouet, en mètres;

$C_h$  est le facteur de correction de la hauteur, en dB(m).

## B.2 Méthode de caractérisation du réseau d'adaptation

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 embase de l'antenne est mesurée selon la configuration d'essai indiquée à la Figure B.1. Le facteur d'antenne ( $AF$ ) en dB(1/m) est donné par l'Equation (B.4).

$$AF = V_D - V_L - C_h \quad (B.4)$$

où

$V_D$  est la mesure du signal de sortie du générateur, en dB( $\mu$ V);

$V_L$  est la mesure du signal de sortie du réseau d'adaptation, en dB( $\mu$ V);

$C_h$  est le facteur de correction de hauteur (pour la hauteur effective), en dB(m).

Pour l'antenne monopole (de 1 m) employée habituellement en mesures de CEM, la hauteur effective ( $h_e$ ) est 0,5 m, le facteur de correction de la hauteur ( $C_h$ ) est –6 dB(m) et la capacité propre ( $C_a$ ) est 10 pF.

NOTE Voir B.1.2 pour calculer la hauteur effective, le facteur de correction de la hauteur et la capacité propre des antennes fouet de dimensions inhabituelles.

L'une des deux procédures doit être utilisée: la méthode de B.2.1 avec un analyseur de réseau, ou la méthode de B.2.2 utilisant un générateur de signal et un appareil de mesure de bruit RF. La même antenne fictive est employée dans les deux cas. Voir l'Article B.3 pour des indications de la réalisation de l'antenne fictive. Les mesures doivent contenir 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 9 kHz à 30 MHz, selon celle qui est la plus petite des deux.

### B.2.1 Procédure utilisant un analyseur de réseau

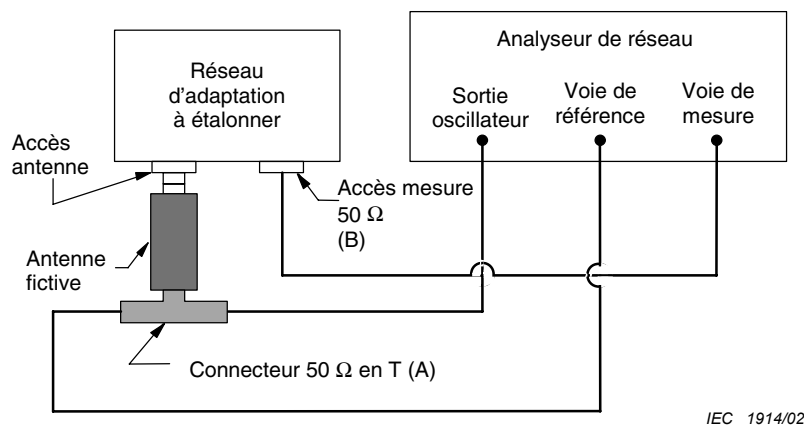
- Etalonner l'analyseur de réseau avec les câbles à utiliser pour la mesure.
- Installer le réseau d'adaptation à étalonner et l'appareil de mesure comme indiqué à la Figure B.1.
- Soustraire le niveau du signal (en dB ( $\mu$ V)) obtenu sur la voie de mesure du niveau du signal (en dB ( $\mu$ V)) obtenu sur la voie de référence et soustraire  $C_h$  (–6 dB pour un fouet de 1 m) pour obtenir la valeur (en dB(1/m)) du facteur d'antenne.

NOTE Des atténuateurs ne sont pas nécessaires avec l'analyseur de réseau car les impédances des voies de l'analyseur sont très proches de 50  $\Omega$  et toute erreur est compensée lors de l'étalonnage de l'analyseur de réseau. Des atténuateurs peuvent néanmoins être utilisés, mais les inclure complique l'étalonnage de l'analyseur.

### B.2.2 Procédure utilisant un appareil de mesure de bruit RF et un générateur de signaux

- Installer le réseau d'adaptation à étalonner et le matériel de mesure comme indiqué à la Figure B.2.
- Avec le matériel connecté comme indiqué et une terminaison 50  $\Omega$  placée sur le connecteur en T (A), mesurer la tension du signal reçu  $V_L$  (en dB( $\mu$ V)) à la sortie RF (B).

- c) En laissant inchangée la valeur du signal de sortie RF du générateur, déplacer la terminaison  $50\ \Omega$  vers la sortie RF (B) et transférer le câble d'entrée au récepteur au connecteur en T (A). Mesurer la tension du signal de commande  $V_D$  (en dB( $\mu$ V)).
- d) Soustraire  $V_L$  de  $V_D$  puis soustraire  $C_h$  (–6 dB pour le fouet de 1 m) afin d'obtenir la valeur (en dB(1/m)) du facteur de l'antenne.

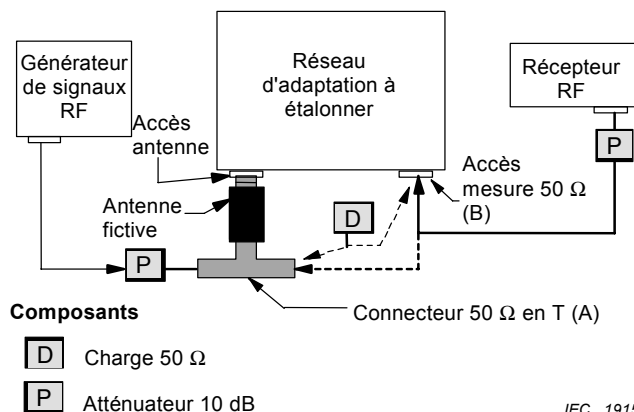


IEC 1914/02

NOTE 1 Placer l'antenne fictive le plus près possible des connexions à l'appareil en essai. Placer le connecteur en T le plus près possible de l'antenne fictive. Utiliser des câbles de même longueur et du 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 mesure  $50\ \Omega$ .

NOTE 2 Aucun atténuateur n'est nécessaire avec l'analyseur de réseau et cela n'est pas recommandé.

**Figure B.1 – Méthode utilisant un analyseur de réseau**



IEC 1915/02

NOTE 1 Placer l'antenne fictive aussi près que possible des connexions de l'appareil en essai. Placer le connecteur en T le plus près possible de l'antenne fictive.

NOTE 2 Si les taux d'ondes stationnaires 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 garantir le taux d'ondes stationnaires à son entrée et le niveau du générateur de signal aux accès mesure.

**Figure B.2 – Méthode utilisant un appareil de mesure de bruit RF et un générateur de signal**

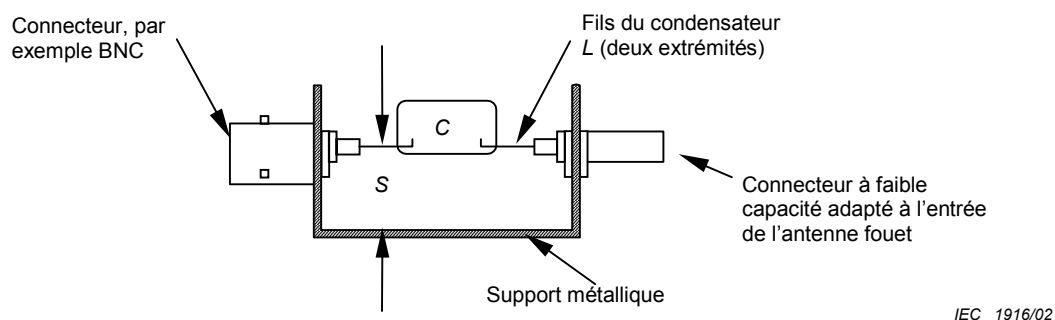
La terminaison  $50\ \Omega$  doit avoir un taux d'onde stationnaire très faible (inférieur à 1,05:1). L'appareil de mesure du bruit RF doit être étalonné et doit avoir un taux d'ondes stationnaires faible (inférieur à 2:1). La sortie du générateur de signal doit avoir une fréquence et une amplitude de sortie stables.

NOTE Le générateur de signal n'a pas besoin d'être étalonné, car il est utilisé comme une référence intermédiaire.

### B.3 Considérations sur l'antenne fictive

La capacité utilisée pour l'antenne fictive doit être montée 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 des parois métalliques du coffret ou du support. Voir la Figure B.3.

Le connecteur en T employé dans le montage de mesure du facteur d'antenne peut être rapporté sur le coffret de l'antenne fictive. La résistance d'adaptation au générateur peut aussi être montée dans le coffret de l'antenne fictive.



IEC 1916/02

#### Composants

C capacité de l'antenne ( $C_a$ ) calculée à partir de l'Equation (B.2), tolérance 5 %, argent mica.

S dégagement des fils, 5 mm à 10 mm (10 mm de toute surface s'il s'agit d'un coffret fermé).

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 du montage du condensateur pour une antenne fictive**

### B.4 Application de l'antenne monopole (fouet)

Une antenne fouet monopole est habituellement conçue pour être utilisée avec un plan de masse ou montée sur un plan de masse. Pour obtenir des valeurs de champ correctes, il est recommandé d'observer les instructions ou recommandations du fabricant concernant l'utilisation du plan de masse.

Si l'antenne comporte 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 plan de masse d'une antenne monopole (fouet) doit être soudé au plan de masse ou au plan de masse du montage. Les exigences de ces normes de mesure doivent être satisfaites.

## B.5 Documents de référence

- [1] 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.
- [2] GREENE, FM. NBS Field-Strength Standards and Measurements (30 Hz to 1 000 MHz). *Proc. IEEE*, No. 6, June 1967, vol. 55, p. 974-981.
- [3] SCHELKUNOFF, SA. and FRIIS, HT. *Antennas: Theory and Practice*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1952, p. 302-331.
- [4] SCHELKUNOFF, SA. Theory of Antennas of Arbitrary Size and Shape. *Proc of the IRE*, Sept. 1941, vol. 29, p. 493-592.
- [5] WOLFF, EA. *Antenna Analysis*. New York: John Wiley and Sons, Inc., 1966, p. 61.
- [6] 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.
- [7] KING, RWP., *Theory of Linear Antennas*, Harvard University Press, Cambridge, MA, 1956, p.16-17, 71, 184 and 487.
- [8] *The Radio Frequency Interference Meter* NAVSHIPS 94810, by The Staff of the Moore School of Electrical Engineering, University of Pennsylvania, 1962, p. 36-38.

## Annexe C (normative)

### Système d'antennes cadres pour la mesure des courants induits par des champs magnétiques dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz

#### C.1 Introduction

La présente annexe contient des renseignements et données relatifs au système d'antennes cadres pour mesurer le courant induit dans ce système par le champ magnétique émis par un seul appareil en essai 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 système d'antennes cadres.

Cette annexe décrit la construction du système et la méthode à suivre pour valider les antennes qui le constituent. 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 appareil en essai en utilisant une seule antenne cadre, placée à une distance déterminée de cet appareil.

#### C.2 Construction du système d'antennes cadres

Le système (voir Figure C.1) est constitué de trois antennes de grand diamètre occupant des plans mutuellement perpendiculaires, décrits à l'Article C.3, montés sur un support non métallique.

Le câble coaxial de  $50\ \Omega$  qui relie la sonde de courant de l'une de ces antennes au commutateur coaxial d'une part, et ce commutateur à l'appareil de mesure d'autre part, doit présenter une impédance de transfert inférieure à  $10\ \text{m}\Omega/\text{m}$  à 100 kHz, et à  $1\ \text{m}\Omega/\text{m}$  à 10 MHz. Un câble coaxial à double tresse RG 223/U, par exemple, répond à cette exigence.

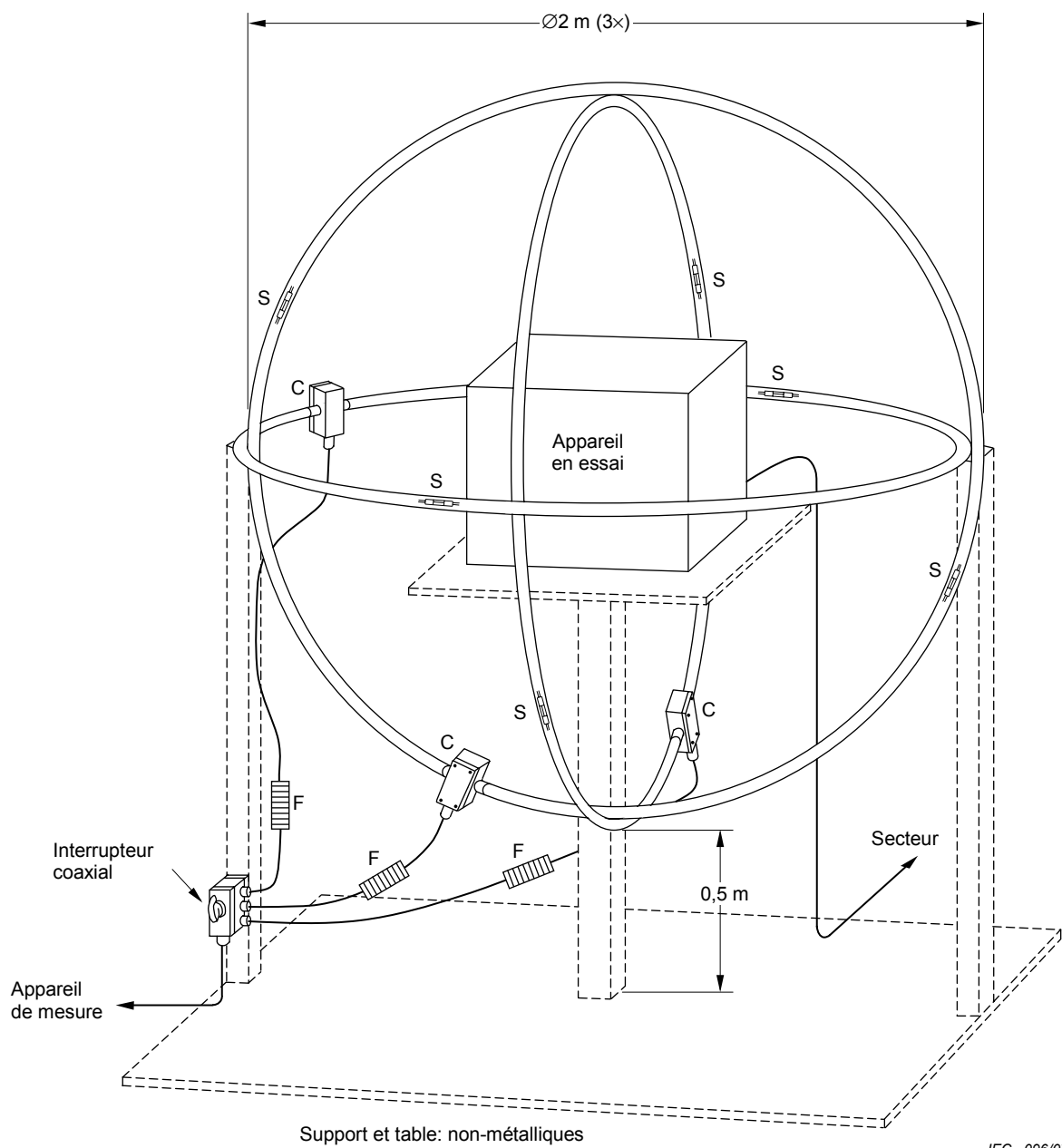
Tous les connecteurs doivent présenter une impédance de transfert de surface comparable à celle du câble coaxial. Cette condition est remplie si l'on utilise, par exemple, des connecteurs type BNC de bonne qualité à bague de verrouillage (voir CEI 60169-8\*).

Tous les câbles doivent être munis d'absorbeurs en ferrite (F à la Figure C.1) constituant une résistance série en mode commun  $R_S > 100\ \Omega$  à 10 MHz. Cette condition est remplie si le tore de ferrite est constitué, par exemple, de douze bagues type 3E1 de Ferroxcube (dimensions minimales en millimètres: 29/19/7,5).

#### C.3 Construction de l'antenne cadre de grand diamètre

Chacune des antennes du système est constituée d'un câble coaxial dont l'impédance de transfert est égale à celle spécifiée en C.2. De plus, la résistance de l'âme de l'antenne 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.

\* CEI 60169-8:1978, *Connecteurs pour fréquences radioélectriques – Huitième partie: Connecteurs coaxiaux pour fréquences radioélectriques avec diamètre intérieur du conducteur extérieur de 6,5 mm (0,256 in) à verrouillage à baïonnette – Impédance caractéristique 50 ohms (type BNC)*



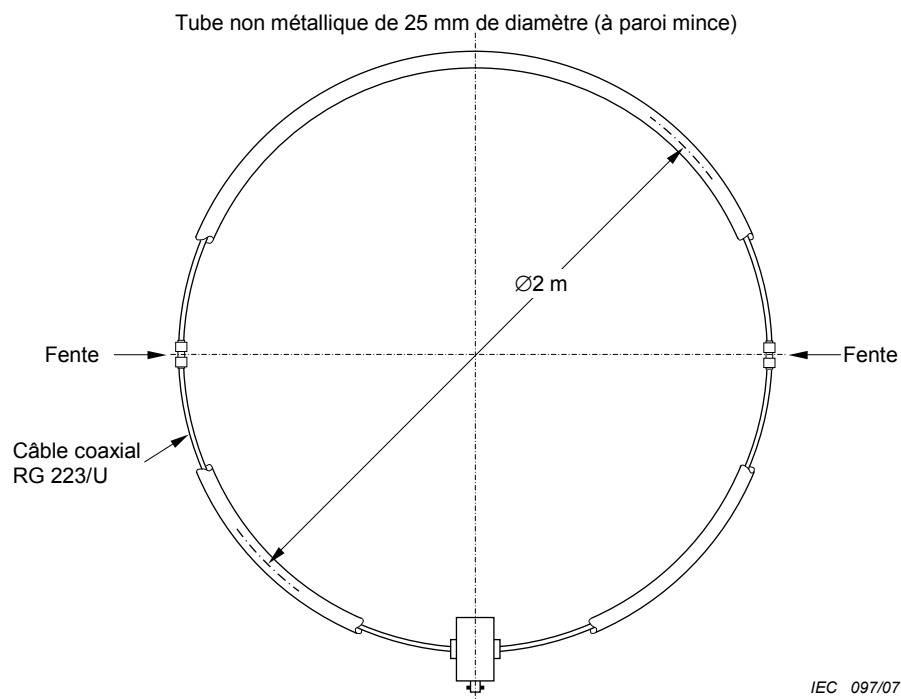
IEC 096/07

### 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, occupant des plans mutuellement perpendiculaires**

Dans l'exemple illustré à la Figure C.2, pour maintenir la forme circulaire de l'antenne 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.

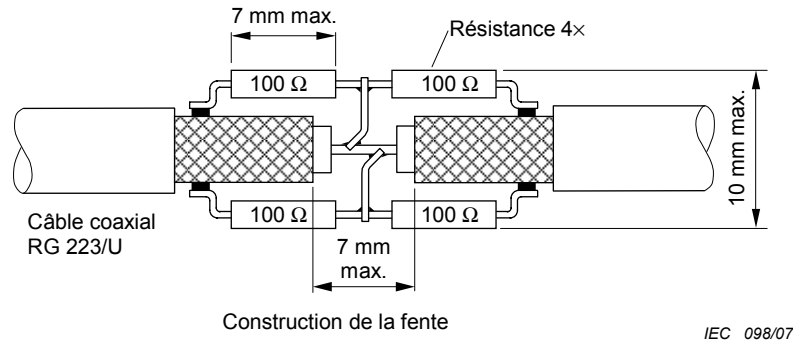


**Figure C.2 – Une antenne de grand diamètre, comportant deux fentes diamétralement opposées, placées à égale distance de la sonde de courant C**

Le diamètre  $D$  normalisé de l'antenne est fixé à 2 m. Si nécessaire, notamment dans le cas d'un appareil de grandes dimensions, on peut augmenter la valeur de  $D$ . Toutefois, dans la gamme de fréquences jusqu'à 30 MHz, le diamètre maximal admissible est  $D = 4$  m. Au-delà de cette valeur, les résonances de la réponse de l'antenne cadre à l'extrémité haute fréquence de la gamme de mesures ne sont plus reproductibles.

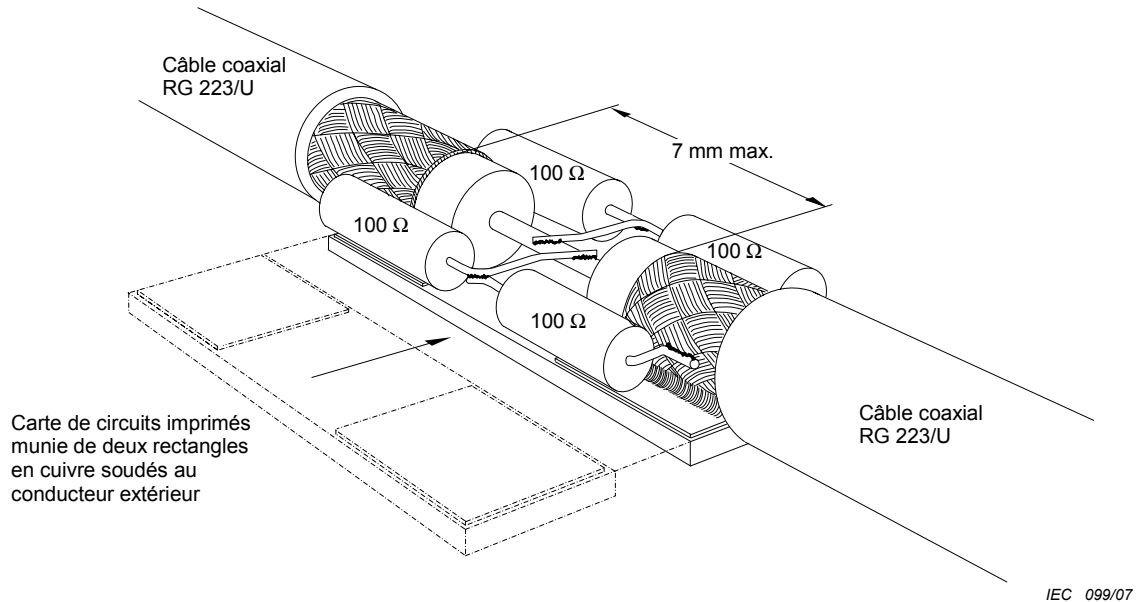
Il convient de noter que l'augmentation du diamètre  $D$  s'accompagne d'une augmentation proportionnelle de la sensibilité de l'antenne au bruit ambiant, et d'une réduction de la sensibilité aux signaux utiles proportionnelle à  $D^2$ .

Une antenne cadre comporte deux fentes diamétralement opposées, équidistantes de la sonde de courant de celle-ci (voir Figure C.2). La largeur de ces fentes, ménagées dans le conducteur extérieur du câble d'antenne coaxial (Figure C.3), doit être inférieure à 7 mm. La fente est shuntée par deux paires parallèles de résistances de 100  $\Omega$  montées en série. Le centre de chacun de ces shunts est relié à l'âme du câble coaxial.



**Figure C.3 – Construction de la fente d'une antenne**

De part et d'autre de la fente, le conducteur extérieur du câble coaxial peut être soudé à une plaquette de circuit imprimé comportant deux rectangles de cuivre, séparés d'au moins 5 mm, assurant la rigidité de la fente (voir Figure C.4).



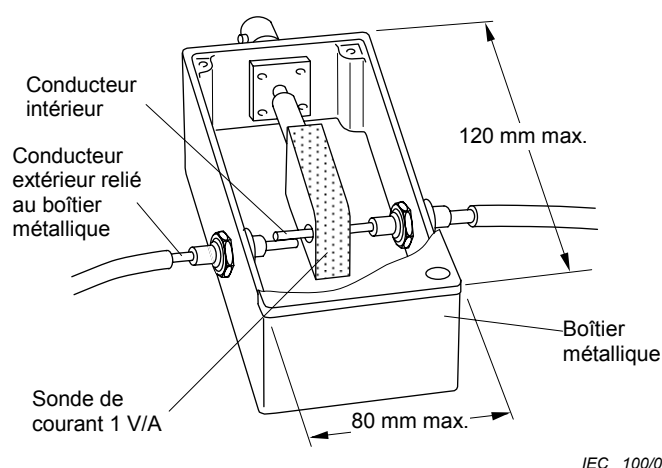
**Figure C.4 – Exemple de construction de fente dont la rigidité est assurée par une plaquette de circuit imprimé**

La sonde de courant placée autour de l'âme du câble d'antenne coaxial doit avoir une sensibilité de 1 V/A dans la gamme de fréquences 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 soudé au boîtier métallique qui renferme 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.

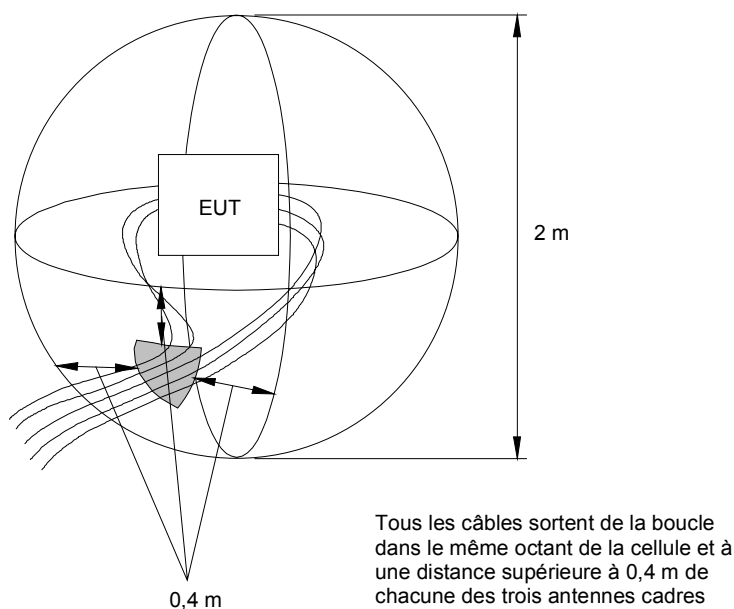
NOTE 1 Pour que la courbe de réponse de l'antenne soit plate à l'extrémité inférieure de la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz, il convient que l'affaiblissement d'insertion  $R_c$  de la sonde de courant soit très inférieur à  $2 \pi f L_c$  à  $f = 9$  kHz, où  $L_c$  représente l'inductance de 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 l'antenne cadre. Cette inductance est d'environ 1,5  $\mu$ H/m de circonférence; on obtient donc pour l'antenne cadre normalisée  $X_i \approx 0,5 \Omega$  à  $f = 9$  kHz.

NOTE 2 Pour éviter les couplages capacitifs indésirables entre l'appareil en essai et le système d'antennes cadres, la distance entre cet appareil et l'une ou l'autre des antennes doit être d'au moins 0,10 fois le diamètre de l'antenne. Il convient de prêter une attention particulière à la disposition des câbles de l'appareil en essai. 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 chacune des antennes cadres (voir Figure C.6).



IEC 100/07

**Figure C.5 – Construction du boîtier métallique renfermant la sonde de courant**



IEC 1 009/97

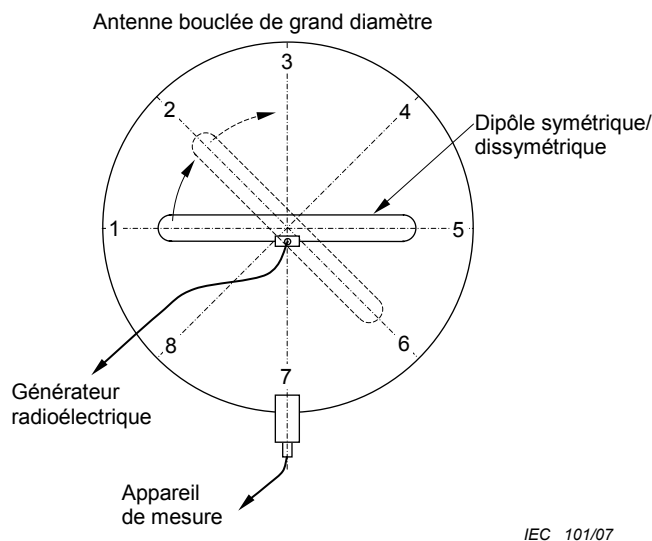
**Figure C.6 – Exemple montrant le cheminement de plusieurs câbles de l'appareil en essai afin de s'assurer qu'il n'y a pas de couplage capacitif entre ces câbles et les antennes cadres**

#### C.4 Validation d'une antenne cadre de grand diamètre

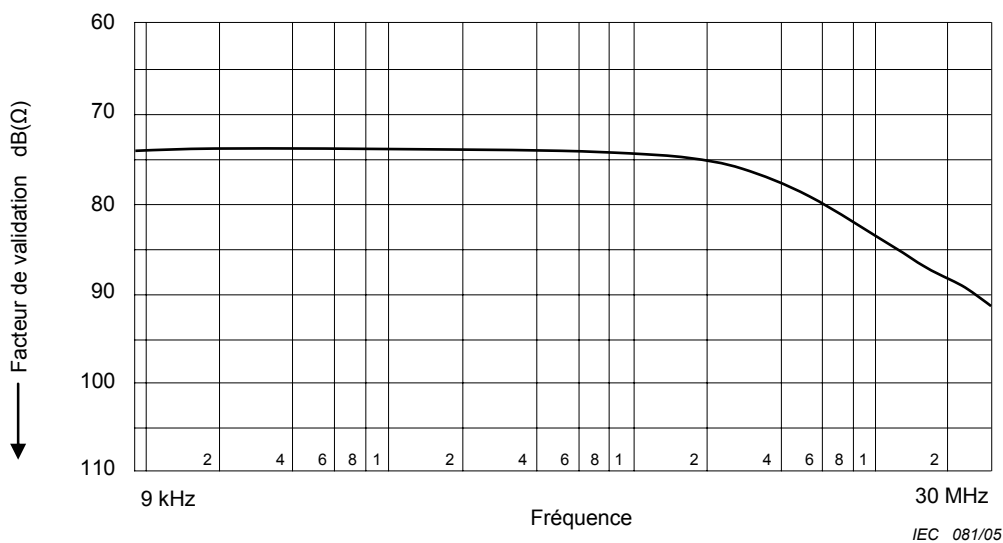
La validation d'une antenne cadre de grand diamètre du système s'effectue par mesure du courant induit dans cette antenne par un dipôle symétrique/dissymétrique (voir Article C.5), relié à un générateur RF de 50  $\Omega$ . Le champ magnétique émis par ce dipôle permet de vérifier la sensibilité de l'antenne au champ magnétique. Le champ électrique émis par ce même dipôle permet de vérifier si la sensibilité de l'antenne au champ électrique est suffisamment faible.

Le courant induit doit être mesuré en fonction de la fréquence dans la gamme de 9 kHz à 30 MHz pour les huit positions du dipôle, illustrées à la Figure C.7. Pendant cette mesure, le dipôle se trouve dans le plan de l'antenne en essai.

Pour chacune des huit positions, le facteur de validation [exprimé en  $\text{dB}(\Omega) = 20 \log(V_{g0}/I_1)$ ] 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  $\pm 2$  dB du facteur de validation indiqué à la Figure C.8.



**Figure C.7 – Les huit positions du dipôle symétrique/dissymétrique pendant la validation de l'antenne cadre de grand diamètre**



**Figure C.8 – Facteur de validation d'une antenne cadre de 2 m de diamètre**

Le facteur de validation indiqué à la Figure C.8 s'applique à une antenne circulaire de diamètre normalisé  $D = 2$  m. Si ce diamètre est différent, le facteur de validation peut être calculé d'après les Figures C.8 et C.11 (Article C.6).

### C.5 Construction du dipôle symétrique/dissymétrique

Le dipôle symétrique/dissymétrique (Figure C.9), est conçu pour émettre en même temps un champ magnétique que doit mesurer l'antenne, et un champ électrique qu'elle doit rejeter.

Le dipôle est constitué 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 dipôle en deux moitiés. L'une d'elles, la moitié de droite sur la Figure C.9, est court-circuitée à proximité de la fente ainsi qu'à proximité du connecteur. On entend par là que le conducteur extérieur et l'âme sont soudés l'un à l'autre. Cette moitié est reliée à la masse de référence du connecteur de type BNC. L'âme du câble coaxial qui forme la moitié de gauche du dipôle illustré à la Figure C.9 est reliée à la broche centrale du connecteur, et son conducteur extérieur à la masse de référence de ce connecteur.

Un petit boîtier métallique assure le blindage des connexions au voisinage du connecteur du dipôle. Le conducteur extérieur des deux moitiés du câble coaxial est soudé à ce boîtier, de même que la masse de référence du connecteur BNC.

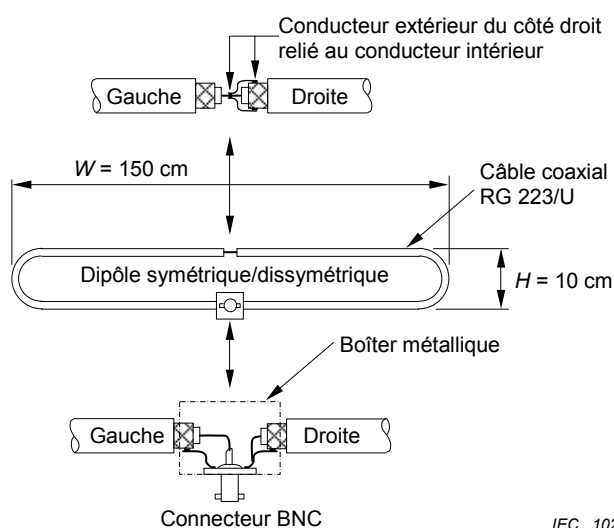
Pour la rigidité de l'ensemble, le dipôle est monté sur un support non métallique.

## C.6 Facteurs de conversion

Le présent article traite du facteur qui permet de convertir le courant  $I$  induit dans une antenne de grand diamètre par l'appareil en essai en un champ magnétique de valeur  $H$ , à une distance spécifiée de l'appareil (voir Figure C.10). Il traite en outre du facteur qui permet de convertir le courant mesuré dans une antenne cadre de diamètre non normalisé, en un courant comparable à celui qui aurait pu être mesuré à l'aide d'une antenne cadre de diamètre normalisé  $D = 2$  m (voir Figure C.11).

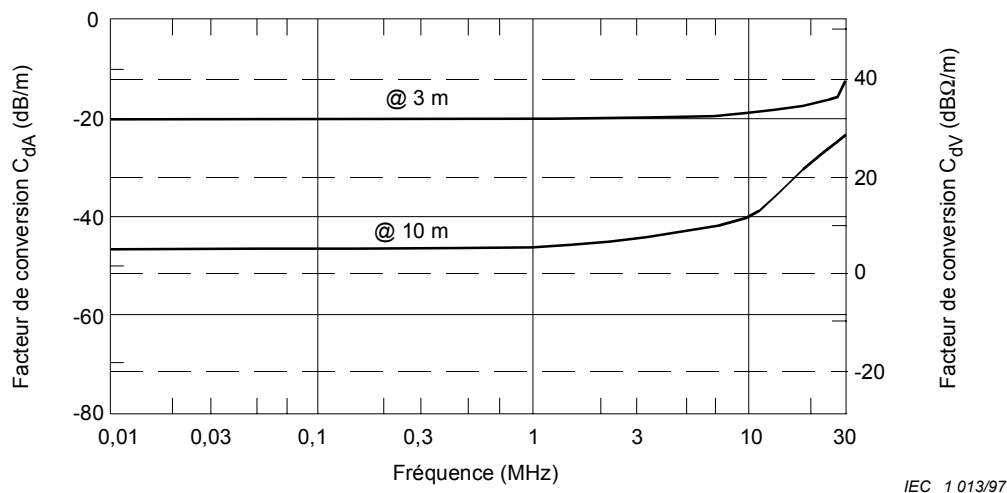
Le facteur de conversion indiqué à la Figure C.10 s'applique à une source de champ magnétique placée au centre de l'antenne, et dont le moment dipolaire est perpendiculaire au plan de cette antenne. Il convient de noter que, pour les antennes cadres spécifiées en 4.2, l'antenne est toujours placée dans un plan vertical, et que l'appareil en essai peut pivoter uniquement sur son axe vertical. Dans ce cas, donc, seuls peuvent être mesurés les moments dipolaires horizontaux, autrement dit les moments parallèles au plan du sol. Par conséquent, dans le cas d'un moment dipolaire vertical, le facteur de conversion ne peut être utilisé pour comparer les résultats produits par les deux méthodes de mesure. Ce facteur peut toutefois être utilisé lorsque, si l'on applique la méthode de mesure du champ magnétique, l'antenne est placée sur un plan horizontal, ou lorsque, avec cette méthode, on incline l'appareil en essai sur  $90^\circ$ , de sorte que le moment dipolaire vertical correspondant devient horizontal.

Si la position réelle d'une source de perturbations à l'intérieur d'un appareil en essai se trouve à moins de 0,5 m du centre du système d'antennes normalisées, les résultats de mesure s'écartent de moins de 3 dB de ceux obtenus lorsque cette source est centrée.

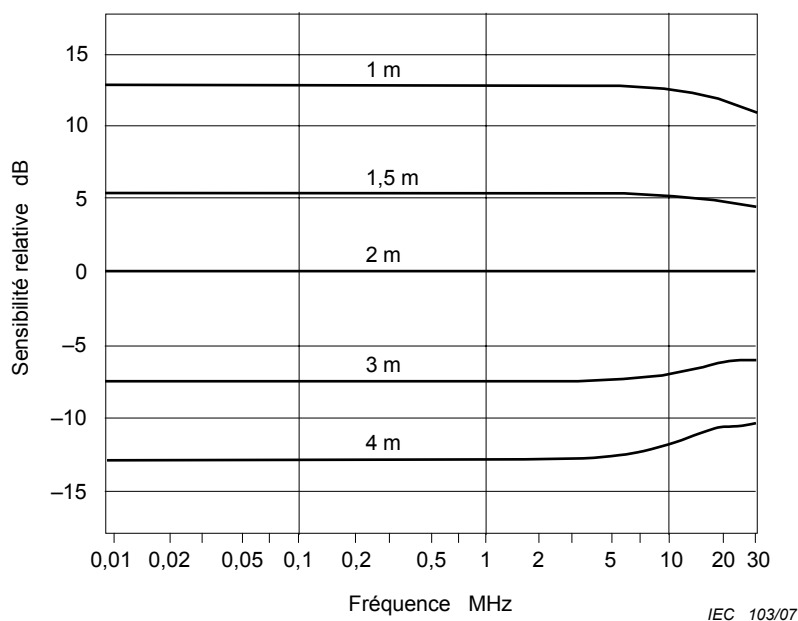


IEC 102/07

Figure C.9 – Construction du dipôle symétrique/dissymétrique



**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 les deux distances de mesure normalisées  $d$**



**Figure C.11 – Sensibilité  $S_D$  d'une antenne cadre de diamètre  $D$  par rapport à une antenne cadre de 2 m de diamètre**

La relation entre l'intensité du champ magnétique  $H$  en dB( $\mu A/m$ ), mesurée à une distance  $d$ , et le courant  $I$  en (dB $\mu A$ ) mesuré à l'aide du système d'antennes cadres, s'écrit:

$$H \text{ [dB}(\mu A/m)] = I \text{ [dB}(\mu A)] + C_{dA} \text{ (dBm}^{-1}\text{)}$$

où  $C_{dA}$  est le facteur de conversion courant-champ pour une distance  $d$  déterminée, lorsque  $H$  est exprimée en dB ( $\mu A/m$ ), voir aussi la note qui suit l'équation suivante.

En général, le facteur de conversion dépend de la fréquence: la Figure C.10 présente  $C_{dA}$  pour les 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, du courant mesuré dans une antenne de diamètre  $D$ , en mètres, au courant théoriquement mesuré à l'aide d'une antenne de diamètre normalisé  $D = 2$  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:

$$H [\text{dB}(\mu\text{A/m})] = I [\text{dB}(\mu\text{A})] - S_D (\text{dB}) + C_{dA} (\text{dBm}^{-1})$$

NOTE Pour le calcul des perturbations, le CISPR a décidé d'exprimer l'intensité du champ magnétique  $H$  en  $\text{dB}(\mu\text{A/m})$  plutôt qu'en  $\text{dB}(\mu\text{V/m})$ . De ce fait, la relation entre  $H$  exprimée en  $\text{dB}(\mu\text{A/m})$  et  $H$  exprimée en  $\text{dB}(\mu\text{V/m})$  s'écrit alors sous la forme:

$$H [\text{dB}(\mu\text{V/m})] = H (\text{dB}(\mu\text{A/m}) + 51,5 (\text{dB}\Omega))$$

Pour plus de facilité, le facteur  $C_{dV}$  de conversion de  $I [\text{dB}(\mu\text{A})]$  en  $H [\text{dB}(\mu\text{V/m})]$  est également donné par la Figure C.10.

Les exemples suivants expliquent l'utilisation des trois équations ci-dessus et des Figures C.10 et C.11.

- a) Fréquence de mesure  $f = 100$  kHz,  $D = 2$  m,  $I = X$   $\text{dB}(\mu\text{A})$ .

Si l'on applique la première équation et la Figure C.10, on obtient:

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

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

- b) Fréquence de mesure  $f = 100$  kHz,  $D = 4$  m,  $I = X$   $\text{dB}(\mu\text{A})$ .

Si l'on utilise la Figure C.11, on constate que le même appareil en essai aurait induit un courant:

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

dans l'antenne de diamètre normalisé  $D = 2$  m.

- c) Validation d'une antenne cadre pour  $D = 3$  m.

On obtient alors le facteur de validation pour chaque fréquence en soustrayant au 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 l'antenne cadre pour laquelle  $D = 3$  m est égal à  $(73,5 - (-7,5)) = 81 \text{ dB}(\Omega)$ .

## C.7 Document de référence

*A Large-Loop Antenna for Magnetic Field Measurements*, J.R. Bergervoet et H. Van Veen, Proceedings of the 8th International Zürich Symposium on EMC, pp. 29-34, March 1989, ETH Zentrum - IKT, 8092 Zürich, Suisse.

## **Annexe D** (informative)

### **Détails de construction des emplacements d'essai en espace libre dans la gamme de fréquences 30 MHz à 1 000 MHz (Article 5)**

#### **D.1 Généralités**

Les Paragraphes 5.1 à 5.5 donnent les principaux aspects de construction des emplacements d'essai en espace libre. Des détails supplémentaires, de nature à assurer la bonne construction de l'emplacement et de l'enceinte tout temps, sont donnés dans la présente annexe. La meilleure manière de s'assurer de l'adéquation de ces pratiques est d'effectuer les mesures d'ANE décrites en 5.6.

#### **D.2 Construction du plan de sol**

##### **D.2.1 Matériaux**

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 recommandés pour les mesures de tous les appareils. Parmi les exemples de plan de sol métalliques, citons les tôles métalliques pleines, la feuille de métal, le métal perforé, le métal déployé, la toile métallique, le treillis métallique et les grilles métalliques. 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 pièces individuelles soient soudés ou brasés au niveau des joints, de préférence en continu, mais en aucun cas avec des espaces supérieurs à 1/10 de la longueur d'onde. Les revêtements diélectriques épais tels que le sable, l'asphalte ou le bois sur des 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 de 4,5 cm est sans conséquence sur les mesures. Une rugosité supérieure est autorisée pour les emplacements à 10 m et 30 m. On doit utiliser la procédure de validation de 5.6 pour déterminer si la rugosité est acceptable.

### D.3 Servitudes de l'appareil en essai

Il convient que l'alimentation électrique ou le câblage d'alimentation de l'appareil en essai 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 de support de l'appareil en essai passent sous le plan de sol. Lorsqu'un cheminement enterré n'est pas possible, il convient que les servitudes de l'appareil en essai soient placées sur le plan de sol, affleurantes et fixées sur ce dernier.

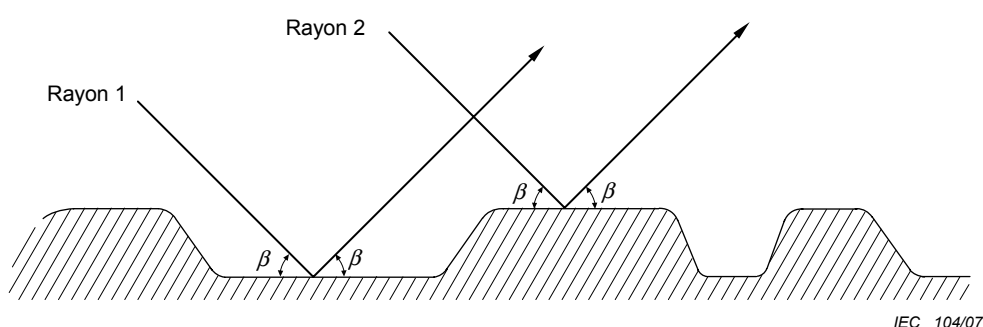


Figure D.1 – Critère de Rayleigh pour la rugosité du plan de sol

| Distance de mesure $R$<br>m | Hauteur de la source $h_1$<br>m | Hauteur maximale de l'antenne de réception $h_2$<br>m | Rugosité maximale (valeur quadratique)<br>$b$ |                   |
|-----------------------------|---------------------------------|-------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|-------------------|
|                             |                                 |                                                       | En longueur d'onde                            | A 1 000 MHz<br>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 fibres 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'appareil en essai. L'absorption d'humidité par certains matériaux (bois et nylon) peut, cependant, entraîner des pertes de transmission, qui sont particulièrement critiques si les émissions de l'appareil en essai 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 composants 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 distants de la zone d'essai pour ne pas affecter la mesure.

#### **D.4.2 Montages internes**

Il convient que toutes les pièces de structure soient non réfléchissantes. Il convient que tous 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-plaque 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'appareil en essai et de la nécessité d'englober l'antenne toute entière, ou uniquement la zone située au-dessus de l'appareil en essai, 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 de l'ANE afin de détecter toute anomalie provoquée par la dégradation de la protection tous temps 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 Plateau tournant et table d'essai**

Afin de faciliter la mesure des émissions électromagnétiques sur toutes les faces de l'EST, il est recommandé d'utiliser un plateau tournant et une table pour supporter cet EST. Le plateau tournant comprend l'assemblage rotatif, et la table d'essai est utilisée pour le positionnement de l'EST sur le site d'essai. Les trois configurations suivantes de table d'essai et de plateau tournant sont considérées dans cet article.

- Pour les plateaux tournants avec un assemblage rotatif situé sous le niveau du sol, la surface tournante (dessus) doit affleurer et être connectée électriquement au plan de sol. 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 m  $\pm$  0,01 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 d'ANE, la table d'essai doit être ôtée.
  - Pour les équipements posés au sol, il convient d'isoler l'EST de la surface conductrice de la table tournante (qui affleure le plan de sol). La hauteur du support isolant doit aller jusqu'à 0,15 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 d'ANE, le support isolant doit être ôté.

- Pour les plateaux tournants avec l'assemblage rotatif soit intégré dans la table d'essai et placé sur le plateau tournant (qui affleure le plan de sol) soit sur le plan de sol sans plateau tournant, 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 d'ANE, la table d'essai doit être ôtée.
- Dans une chambre totalement anéchoïque (FAR), la hauteur de la table d'essai de l'EST n'est pas définie et dépend de la performance du matériau absorbant et du volume d'essai de la FAR. Pour la mesure d'ANE, la table d'essai doit être ôtée.

NOTE Il convient qu'un EST/système qui inclut une table d'essai comme partie intégrante de l'équipement en essai utilise la table de 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 que l'antenne de réception soit montée sur un support non conducteur permettant de la surélever entre  $1 \text{ m}$  et  $4 \text{ m}$  pour la mesure à une distance inférieure ou égale à  $10 \text{ m}$ , et entre  $1 \text{ m}$  et  $4 \text{ m}$  ou entre  $2 \text{ m}$  et  $6 \text{ m}$  pour des distances supérieures à  $10 \text{ m}$ . 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 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  $1 \text{ m}$ , 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 assurer des niveaux de signaux reçus acceptables à  $1\,000 \text{ MHz}$ .

Pour les antennes de 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  $1 \text{ m}$ , ou plus, à l'arrière de l'antenne de réception (en s'éloignant de l'appareil en essai) avant de descendre sur le plan de sol. Une perche d'antenne d'environ  $1 \text{ m}$  de longueur est suffisante. 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 des facteurs d'antenne ne soit pas affecté par la présence des positionneurs d'antennes et par la disposition du câble coaxial fixé à l'antenne.

## Annexe E (normative)

### Procédure de validation de l'emplacement d'essai en espace libre pour la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz (Article 5)

#### E.1 Généralités

Le Paragraphe 5.6 contient les exigences générales et les procédures pour la détermination de la validation de l'emplacement par mesures d'affaiblissement normalisé de l'emplacement (ANE). La présente annexe donne les procédures détaillées à appliquer pour les mesures d'ANE.

#### 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 branché 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 réglée 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  $h_{2min}$  à  $h_{2max}$ , placé à une distance  $R$  de l'antenne d'émission et elle est connectée à un récepteur de mesure ou 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 d'ANE 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 de procéder comme suit 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 réglée à  $h_1$ .

- 1) Régler le niveau de sortie du générateur de signaux 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) Déplacer 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  $V_{EMPLACEMENT}$  dans l'Equation (1), en 5.6.1.
- 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  $V_{\text{DIRECT}}$  dans l'Equation (1), en 5.6.1.
- 6) A chaque fréquence et pour chaque polarisation, introduire les valeurs des étapes 3) et 5) dans l'Equation (1), en 5.6.1.
- 7) Introduire les facteurs d'antenne d'émission et de réception à la fréquence de mesure, comme indiqué dans l'Equation (1).
- 8) Introduire le facteur de correction d'impédance mutuelle  $\Delta AF_{\text{TOT}}$  du Tableau E.4, qui s'applique uniquement à la géométrie spécifique de la polarisation horizontale, avec des doublets accordables séparés de 3 m.  $\Delta AF_{\text{TOT}} = 0$  pour toutes les autres géométries.
- 9) Résoudre l'Equation (1) pour  $A_N$  qui est l'ANE pour la fréquence de mesure et la polarisation utilisées.
- 10) Soustraire la valeur de l'étape 9) de l'ANE 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  $\pm 4$  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, sauf 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'appliquer la procédure suivante 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 balayées sur toutes les gammes de fréquences requises. Les gammes de fréquences sont en général déterminées par le type d'antenne à large bande utilisée. La vitesse de balayage en fréquence doit être beaucoup plus élevée 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) Déplacer 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'amplitude supérieure de 60 dB puisse être affiché sur la même échelle d'amplitude. Cela permet l'enregistrement des niveaux à l'étape 5.
- 4) Abaisser lentement l'antenne de réception jusqu'à la hauteur minimale de la plage de balayage comme indiquée 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( $\mu$ V). (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  $AF_T$  (dB/m) et  $AF_R$  (dB/m), respectivement. (Les facteurs d'antenne en fonction continue de la fréquence peuvent être obtenus par simple interpolation linéaire d'un ensemble de valeurs discrètes de facteurs d'antenne). Le résultat est l'ANE mesuré sur la gamme de fréquences utilisées, qu'il convient de tracer. Tracer également l'ANE théorique pour un emplacement idéal donné au Tableau E.1.
- 7) Les différences trouvées entre l'ANE théorique et l'ANE mesuré doivent satisfaire au critère de  $\pm 4$  dB.

NOTE Pour les deux méthodes de mesure de l'ANE, une désadaptation d'impédance à la sortie de la source du 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 affaiblisseurs d'équilibrage de 10 dB à la sortie de chaque câble d'antenne d'émission et de réception. Il convient que ces affaiblisseurs restent connectés aux câbles pendant toute la mesure de l'ANE.

#### **E.4 Causes possibles de dépassement des limites d'acceptabilité de l'emplacement**

Si l'écart dépasse le critère de  $\pm 4$  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  $\pm 4$  dB, l'emplacement et la zone environnante sont à mettre en cause. L'affaiblissement vertical de l'emplacement est 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. Les problèmes peuvent provenir d'une construction et d'une taille incorrectes du plan de sol, d'objets réfléchissants trop rapprochés (barrières, constructions, pylônes d'éclairage, etc.), de performances dégradées des enceintes de protection contre les intempéries dues à des techniques de construction et de maintenance non appropriées, et à des effets à long terme, tels que la pénétration de résidus polluants conducteurs transportés par l'air.

#### **E.5 Etalonnage de l'antenne**

Les facteurs d'antenne des antennes à large bande utilisées pour effectuer des mesures d'affaiblissement de l'emplacement doivent pouvoir être ramenés à une norme nationale\*. 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. 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 habituellement utilisées pour les mesures de compatibilité électromagnétique 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, spécialement à la distance de mesure de 3 m, il convient de mesurer d'abord les facteurs d'antenne en utilisant ces géométries.

\* Une procédure d'étalonnage est à l'étude.

Normalement, l'affaiblissement de l'emplacement est mesuré dans un système 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 50 Ω à l'impédance de rayonnement de l'antenne et, si c'est le cas, les pertes du symétriseur utilisé sont également comprises dans le facteur d'antenne communiqué.

Si des doublets demi-onde accordés sont utilisés, leurs facteurs d'antenne en espace libre peuvent être calculés à l'aide de l'équation suivante:

$$AF = 20 \log (2\pi/\lambda) + 10 \log (73/50) \quad (\text{dB}) \quad (\text{E.1})$$

$$= 20 \log f - 31,9 \quad (\text{dB}) \quad (\text{E.2})$$

où  $f$  est en MHz.

NOTE 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'Equation (E.2) devient donc:

$$AF = 20 \log f - 31,4 \quad (\text{dB}) \quad (\text{E.3})$$

La perte du symétriseur se mesure 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 aient la même perte.

Il est important de vérifier que ces valeurs calculées sont bien représentatives des valeurs des doublets accordés effectivement utilisés pour les mesures d'ANE. La plus simple des vérifications consiste à assembler les antennes de telle manière que leurs éléments soient en résonance, et à en mesurer le ROS. L'antenne doit être placée au minimum à 4 m au-dessus du sol, et même 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 ROS des antennes en bas, au milieu et en haut de leurs gammes de fréquences.

En dessous de 100 MHz, il est également possible de 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 ROS du symétriseur ainsi équipé. Il convient que la valeur obtenue soit inférieure à 1,5.

**Tableau E.1 – Affaiblissement normalisé de l'emplacement\***

(Géométries conseillées pour les antennes à large bande)

| Polarisation                                                                                                                                                                                 | Horizontale | Horizontale | Horizontale | Horizontale | Verticale | Verticale | Verticale | Verticale |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| $R$ (m)                                                                                                                                                                                      | 3           | 10          | 30          | 30          | 3         | 10        | 30        | 30        |
| $h_1$ (m)                                                                                                                                                                                    | 1           | 1           | 1           | 1           | 1         | 1         | 1         | 1         |
| $h_2$ (m)                                                                                                                                                                                    | 1 à 4       | 1 à 4       | 2 à 6       | 1 à 4       | 1 à 4     | 1 à 4     | 2 à 6     | 1 à 4     |
| $f_m$ (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      |
| * 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 de l'emplacement**

(Géométries conseillées pour les doublets demi-onde accordés, à polarisation horizontale)

| <b>Polarisation</b><br><i>R</i> (m)<br><i>h</i> <sub>1</sub> (m)<br><i>h</i> <sub>2</sub> (m) | <b>Horizontale</b><br><b>3**</b><br><b>2</b><br><b>1 à 4</b> | <b>Horizontale</b><br><b>10</b><br><b>2</b><br><b>1 à 4</b> | <b>Horizontale</b><br><b>30</b><br><b>2</b><br><b>2 à 6</b> |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|
| <i>f</i> <sub>m</sub> (MHz)                                                                   | <i>A</i> <sub>N</sub> (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                                                        |

\*\* Dans le cas des doublets demi-onde accordés à polarisation horizontale espacés de 3 m, il convient de soustraire les facteurs de correction d'impédance mutuelle (voir Tableau E.4) des valeurs mesurées d'affaiblissement normalisé de l'emplacement, afin de pouvoir les comparer avec les valeurs théoriques d'affaiblissement normalisées de l'emplacement pour un emplacement idéal, données dans ce tableau.

**Tableau E.3 – Affaiblissement normalisé de l'emplacement**

(Géométries conseillées pour les doublets demi-onde accordés, à polarisation verticale)

| $f_m$<br>MHz | $R = 3 \text{ m}$<br>$h_1 = 2,75 \text{ m}$ |               | $R = 10 \text{ m}$<br>$h_1 = 2,75 \text{ m}$ |               | $R = 30 \text{ m}$<br>$h_1 = 2,75 \text{ m}$ |               |
|--------------|---------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------|---------------|----------------------------------------------|---------------|
|              | $h_2$<br>(m)                                | $A_N$<br>(dB) | $h_2$<br>(m)                                 | $A_N$<br>(dB) | $h_2$<br>(m)                                 | $A_N$<br>(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**

| $\Delta AF_{TOT}$ – Facteur total de correction en décibels |                                                                                                            |                                                                                                            |
|-------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $f_m$<br><br>MHz                                            | Polarisation horizontale<br>$R = 3 \text{ m}$<br>$h_1 = 2 \text{ m}$<br>$h_2 = 1 \text{ m à } 4 \text{ m}$ | Polarisation verticale<br>$R = 3 \text{ m}$<br>$h_1 = 2,75 \text{ m}$<br>$h_2 = (\text{voir Tableau E.3})$ |
| 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 Valeurs calculées pour les doublets résonnants en utilisant la méthode des moments et le code NEC (Numerical Electromagnetic Code) ou le système informatique (MININEC).

G.J Burke and A.J. Poggio, *Numerical Electromagnetic Code – Method of Moments*, Lawrence Livermore Laboratory, California, January 1981.

J.W. Rockway, J.C. Logan, D.W.S. Tam, S.T. Li, *The MININEC System: Microcomputer Analysis of Wire Antennas*, Artech House, Boston, 1988.

Berry, J.; Pate, B.; Knight: "Variations in Mutual Coupling Correction Factors for Resonant Dipoles Used In Site Attenuation Measurements", Proc IEEE Sym on EMC, Washington, DC, 1990.

NOTE 2 On suppose que les facteurs d'antenne sont les facteurs théoriques en espace libre pour les doublets résonnants 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 basses fréquences. 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 données 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 pour le critère de 4 dB pour l'acceptabilité de l'emplacement (Article 5)

#### F.1 Généralités

La présente annexe donne la base du critère d'acceptabilité de  $\pm 4$  dB pour les mesures d'affaiblissement normalisé de l'emplacement, prescrite en 5.6.

#### 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 5.6. Les erreurs totales estimées sont la base du critère de  $\pm 4$  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 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 de beaucoup 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 discrète<br>dB | Méthode par balayage<br>de fréquence<br>dB |
| Facteur d'antenne (émission)*                                                                            | $\pm 1$                | $\pm 1$                                    |
| Facteur d'antenne (réception)*                                                                           | $\pm 1$                | $\pm 1$                                    |
| Voltmètre                                                                                                | 0                      | $\pm 1,6^{**}$                             |
| Affaiblisseur                                                                                            | $\pm 1$                | 0                                          |
| Imperfections de l'emplacement                                                                           | $\pm 1$                | $\pm 1$                                    |
| Totaux                                                                                                   | $\pm 4$                | $\pm 4,6$                                  |
| * Aux fréquences supérieures à 800 MHz, les erreurs de facteur d'antenne peuvent approcher $\pm 1,5$ dB. |                        |                                            |
| ** Extrait du manuel d'utilisation.                                                                      |                        |                                            |

En prenant pour 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 linéarité de la réponse en fréquence,
- 3)  $\pm 1,0$  dB pour la commutation de l'affaiblisseur 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 de type par substitution, les erreurs associées à la linéarité de la réponse en fréquence et à la commutation de l'affaiblisseur d'entrée sont en général 1 dB plus faibles, et la bande d'erreur totale de l'analyseur de spectre, utilisé en voltmètre à deux bornes, est donc de  $\pm 1,6$  dB ou meilleure, valeur utilisée au Tableau F.1.

Beaucoup d'affaiblisseurs ont une précision absolue très inférieure, mais certains affaiblisseurs sont meilleurs. Le bilan d'erreur total peut donc être augmenté ou diminué pour les mesures discrètes. Si un affaiblisseur externe est utilisé 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  $\pm 4$  dB, tout en présentant une variation d'anomalie de l'emplacement supérieure à  $\pm 1$  dB par rapport à la situation idéale.

## Bibliographie

- [1] ZOMBOLAS, C. The effects of table material on radiated field strength measurement reproducibility at open area test sites. *IEEE Intl. Symp. Electromag. Compat.*, Montreal, Quebec, Canada, 2001, pp. 260-264.
  - [2] BEECKMAN, P. A. The influence of positioning tables on the results of radiated EMC measurements. *IEEE Intl. Symp. Electromag. Compat.*, Montreal, Quebec, Canada, 2001, pp. 280-285.
  - [3] 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))
  - [4] ETR 273-1-1:199x *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; Sub-clause 8.3.4.3: Antenna mast, turntable and mounting fixture*, ETSI Technical Report, European Telecommunications Standards Institute, Sophia Antipolis, France.
-



INTERNATIONAL  
ELECTROTECHNICAL  
COMMISSION

3, rue de Varembé  
P.O. Box 131  
CH-1211 Geneva 20  
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11  
Fax: + 41 22 919 03 00  
[info@iec.ch](mailto:info@iec.ch)  
[www.iec.ch](http://www.iec.ch)