

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 – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements

**Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques –
Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.100.10; 33.100.20

ISBN 978-2-8322-6846-9

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

REDLINE VERSION

VERSION REDLINE



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 – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements

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

Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées

CONTENTS

FOREWORD.....	10
1 Scope.....	12
2 Normative references	12
3 Terms, definitions and abbreviated terms	13
3.1 Terms and definitions.....	13
3.2 Abbreviated terms.....	18
4 Antennas for measurement of radiated radio disturbance	19
4.1 General.....	19
4.2 Physical parameter (measurand) for radiated disturbance measurements	19
4.3 Antennas for the frequency range 9 kHz to 150 kHz.....	19
4.3.1 General.....	19
4.3.2 Magnetic field antenna.....	20
4.3.3 Shielding of loop antenna	22
4.4 Antennas for the frequency range 150 kHz to 30 MHz.....	22
4.4.1 Electric field antenna	22
4.4.2 Magnetic field antenna.....	22
4.4.3 Balance and electric field discrimination of antennas	22
4.5 Antennas for the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz.....	22
4.5.1 General.....	22
4.5.2 Low-uncertainty antenna for use if there is an alleged non-compliance to the electric disturbance field strength limit	23
4.5.3 Antenna characteristics.....	23
4.5.4 Balance of antenna	25
4.5.5 Cross-polar response of antenna	26
4.6 Antennas for the frequency range 1 GHz to 18 GHz.....	27
4.6.1 General.....	27
4.6.2 Receive antenna.....	28
4.7 Special antenna arrangements – large-loop antenna system.....	29
5 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range of 9 kHz to 30 MHz	30
5.1 General.....	30
5.2 Radio-frequency ambient environment of a test site	30
5.3 Measurement distance and test volume	31
5.4 Set-up table and antenna positioner.....	31
5.5 Validation procedure of test site.....	31
5.5.1 General.....	31
5.5.2 Normalized site insertion loss (NSIL)	35
5.5.3 Reference site method	35
5.5.4 Acceptance criterion	36
6 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz	36
6.1 General.....	36
6.2 OATS.....	36
6.2.1 General.....	36
6.2.2 Weather-protection enclosure	37
6.2.3 Obstruction-free area	37
6.2.4 Radio-frequency ambient environment of a test site	38

6.2.5	Ground plane	39
6.3	Suitability of other test sites	39
6.3.1	Other ground-plane test sites	39
6.3.2	Test sites without ground plane (FAR)	39
6.4	Test site validations	40
6.4.1	General.....	40
6.4.2	Overview of test site validations	40
6.5	Basic parameters of the NSA method for OATS and SAC.....	41
6.5.1	General equation and table of theoretical NSA values.....	41
6.5.2	Antenna calibration	45
6.6	Reference site method for OATS and SAC	45
6.6.1	General.....	45
6.6.2	Antennas not permitted for RSM measurements	46
6.6.3	Determination of the antenna pair reference site attenuation on a REFTS	46
6.6.4	Determination of the antenna pair reference site attenuation using an averaging technique on a large OATS.....	47
6.7	Validation of an OATS by the NSA method	50
6.7.1	Discrete frequency method	50
6.7.2	Swept frequency method.....	51
6.8	Validation of a weather-protection-enclosed OATS or a SAC	52
6.9	Possible causes for exceeding site acceptability limits	54
6.10	Site validation for FARs	55
6.10.1	General.....	55
6.10.2	RSM for FAR sites	59
6.10.3	NSA method for FAR sites	61
6.10.4	Site validation criteria for FAR sites	63
6.11	Evaluation of set-up table and antenna tower.....	63
6.11.1	General.....	63
6.11.2	Evaluation procedure for set-up table influences.....	64
7	Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range 1 GHz to 18 GHz	65
7.1	General.....	65
7.2	Reference test site	66
7.3	Test site validation.....	66
7.3.1	General.....	66
7.3.2	Acceptance criterion for site validation.....	67
7.4	Antenna requirements for S_{VSWR} standard test procedure	67
7.4.1	General.....	67
7.4.2	Transmit antenna	68
7.4.3	Antennas and test equipment for the S_{VSWR} reciprocal test procedure	70
7.5	Required positions for site validation testing	71
7.5.1	General.....	71
7.5.2	Descriptions of S_{VSWR} measurement positions in a horizontal plane (Figure 23).....	71
7.5.3	Descriptions of S_{VSWR} additional measurement positions (Figure 24).....	72
7.5.4	Summary of S_{VSWR} measurement positions.....	73
7.6	S_{VSWR} site validation – standard test procedure	76
7.7	S_{VSWR} site validation – reciprocal test procedure using an isotropic field probe	77

7.8	S_{VSWR} conditional measurement position requirements	78
7.9	S_{VSWR} site validation test report	79
7.10	Limitations of the S_{VSWR} site validation method	79
7.11	Alternative test sites	80
8	Common mode absorption devices	80
8.1	General	80
8.2	CMAD S -parameter measurements	80
8.3	CMAD test jig	80
8.4	Measurement method using the TRL calibration	81
8.5	Specification of ferrite clamp-type CMAD	83
8.6	CMAD performance (degradation) check using spectrum analyzer and tracking generator	84
9	Reverberating chamber for total radiated power measurement	86
	9.1 General	
	9.2 Chamber	
	9.2.1 Chamber size and shape	
	9.2.2 Door, openings in walls, and mounting brackets	
	9.2.3 Stirrers	
	9.2.4 Test for the efficiency of the stirrers	
	9.2.5 Coupling attenuation	
10	TEM-cells waveguides for immunity to radiated disturbance measurements	89
Annex A (normative)	Parameters of antennas	90
A.1	General	90
A.2	Preferred antennas	90
A.2.1	General	90
A.2.2	Calculable antenna	90
A.2.3	Low-uncertainty antennas	90
A.3	Simple dipole antennas	91
A.3.1	General	91
A.3.2	Tuned dipole	92
A.3.3	Shortened dipole	92
A.4	Broadband antenna parameters	93
A.4.1	General	93
A.4.2	Antenna type	94
A.4.3	Specification of the antenna	94
A.4.4	Antenna calibration	95
A.4.5	Antenna user information	95
Annex B (XXX)	(Void)	96
Annex C (normative)	Large-loop antenna system for magnetic field induced-current measurements in the frequency range of 9 kHz to 30 MHz	97
C.1	General	97
C.2	Construction of an LLAS	97
C.3	Construction of a large-loop antenna (LLA)	97
C.4	Validation of an LLAS	102
C.5	Construction of the LLAS verification dipole antenna	105
C.6	Conversion factors	107
C.6.1	General	109
C.6.2	Current conversion factors for an LLAS with non-standard diameter	110
C.6.3	Conversion of LLAS measured current to magnetic field strength	111

C.7	Examples	113
Annex D (normative) Construction details for open area test sites in the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz (see Clause 6)		
D.1	General	115
D.2	Ground plane construction	115
D.2.1	Material	115
D.2.2	Roughness	115
D.3	Services to EUT	116
D.4	Weather-protection enclosure construction	116
D.4.1	Materials and fasteners	116
D.4.2	Internal arrangements	117
D.4.3	Size	117
D.4.4	Uniformity with time and weather	117
D.5	Turntable and set-up table	117
D.6	Receive antenna mast installation	118
Annex E (xxx) (Void)		
Annex F (informative) Basis for ± 4 dB site acceptability criterion (see Clause 6)		
F.1	General	120
F.2	Error analysis	120
Annex G (informative) Examples of uncertainty budgets for site validation of a COMTS using RSM with a calibrated antenna pair (see 6.6)		
G.1	Quantities to be considered for antenna pair reference site attenuation calibration using the averaging technique	122
G.2	Quantities to be considered for antenna pair reference site attenuation calibration using a REFTS	123
G.3	Quantities to be considered for COMTS validation using an antenna pair reference site attenuation	124
Annex H (informative) Definition of uncertainty in cross-polar response measurement		
H.1	General	125
H.2	Example uncertainty estimate	127
H.3	Rationale for the estimates of input quantities in Table H.1 and Table H.3	128
H.4	Measurement of XPR below 100 MHz at an OATS	129
Annex I (informative) Measurement uncertainties of COMTS validation results in the frequency range 9 kHz to 30 MHz		
I.1	Quantities to be considered for COMTS validation using the NSIL method	131
I.2	Quantities to be considered for COMTS validation using the RSM method	133
Annex J (normative) Derivation of NSIL values in the frequency range 9 kHz to 30 MHz		
J.1	General	135
J.2	Magnetic field antenna factor	135
J.3	Site insertion loss	137
J.4	Normalized site insertion loss	138
J.5	NSIL tables	142
Annex K (informative) Recommendations for the design of test sites in the frequency range 9 kHz to 30 MHz		
K.1	General	147
K.2	Dimensions and quality of the ground plane	147
K.3	Obstruction free area	148
K.4	Resonance-free area	148

Annex L (informative) Accuracy of NSIL values in the frequency range of 9 kHz to 30 MHz.....	150
L.1 General.....	150
L.2 Cross check of NEC with analytic formulas	150
L.3 Recommended NEC versions.....	151
L.4 Instabilities at the lower frequency end	152
L.5 Extrapolation methods to solve instabilities.....	152
L.6 Reducing the number of segments to solve instabilities	152
Annex M (informative) Example calculation for 10 m SACs that do not fulfil the ± 4 dB criterion within 9 kHz to 30 MHz.....	153
Annex N (normative) Calibration of the sum of magnetic field antenna factors in the frequency range of 9 kHz to 30 MHz	156
N.1 General.....	156
N.2 Calibration procedure.....	156
N.3 Measurement uncertainties	157
Bibliography.....	159
Figure 34 – Example of size-compliant loop antenna.....	21
Figure 1 – Schematic of radiation from EUT reaching an LPDA antenna directly and via ground reflection at a 3 m site, showing the beamwidth half-angle, φ , at the reflected ray.....	24
Figure 2 – RX antenna E-plane radiation pattern example, with limit area shaded for 3 m distance and 2 m EUT width.....	28
Figure 3 – Determination of maximum useable EUT width using half-power beamwidth	29
Figure 4 – Determination of maximum useable EUT height using half-power beamwidth	29
Figure 35 – General arrangement of the three measurement orientations H_x , H_y and H_z , where d is the measurement distance and h is the height of the reference point	32
Figure 36 – Antenna positions.....	33
Figure 37 – Antenna positions.....	34
Figure 38 – Test set-up for V_{DIRECT} with power amplifier and attenuator	35
Figure 5 – Obstruction-free area of a test site with a turntable	38
Figure 6 – Obstruction-free area with stationary EUT.....	38
Figure 7 – Test point locations for 3 m and 10 m test distances	47
Figure 8 – Paired test point locations for all test distances.....	49
Figure 9 – Example of paired test point selection for a test distance of 10 m.....	49
Figure 10 – Illustration of an investigation of influence of antenna mast on A_{APR}	50
Figure 11 – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – vertical polarization validation measurements	53
Figure 12 – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – horizontal polarization validation measurements	53
Figure 13 – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – vertical polarization validation measurements for a smaller EUT	54
Figure 14 – Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – horizontal polarization validation measurements for a smaller EUT	54
Figure 15 – Measurement positions for FAR site validation	57
Figure 16 – Example of one measurement position and antenna tilt for FAR site validation	59
Figure 17 – Typical quasi free-space test site reference SA measurement set-up	61

Figure 18 – Theoretical free-space NSA as a function of frequency for different measurement distances [see Equation (16)].....	63
Figure 19 – Position of the antenna relative to the edge above a rectangle set-up table (top view).....	65
Figure 20 – Antenna position above the set-up table (side view).....	65
Figure 21 – Transmit antenna E-plane radiation pattern example (this example is for informative purposes only).....	69
Figure 22 – Transmit antenna H-plane radiation pattern (this example is for informative purposes only).....	70
Figure 23 – S_{VSWR} measurement positions in a horizontal plane (see 7.5.2 for description).....	71
Figure 24 – S_{VSWR} positions (height requirements).....	73
Figure 25 – S_{VSWR} conditional measurement position requirements.....	79
Figure 26 – Definition of the reference planes inside the test jig.....	81
Figure 27 – The four configurations for the TRL calibration.....	83
Figure 28 – Limits for the magnitude of S_{11} , measured according to the provisions of 8.1 to 8.3.....	84
Figure 29 – Example of a 50 Ω adaptor construction in the vertical flange of the jig.....	85
Figure 30 – Example of a matching adaptor with balun or transformer.....	85
Figure 31 – Example of a matching adaptor with resistive matching network.....	86
Figure 32 – Example of a typical paddle stirrer.....	
Figure 33 – Range of coupling attenuation as a function of frequency for a chamber using the stirrer shown in Figure 32.....	
Figure A.1 – Short dipole antenna factors for $R_L = 50 \Omega$	93
Figure C.1 – The LLAS, consisting of three mutually perpendicular large-loop antennas.....	99
Figure C.2 – An LLA containing two opposite slits, positioned symmetrically with respect to the current probe C.....	100
Figure C.3 – Construction of an LLA slit.....	100
Figure C.4 – Example of an LLA slit construction using a strap of printed circuit board to obtain a rigid construction.....	101
Figure C.5 – Construction of the metal box containing the current probe.....	101
Figure C.6 – Example showing the routing of several cables from an EUT to minimize capacitive coupling from the leads to the LLAS.....	102
Figure C.7 – The eight positions of the LLAS verification dipole during validation of an LLA.....	103
Figure C.8 – Validation factor for an LLA of 2 m diameter Reference validation factors for loops of 2 m, 3 m, and 4 m diameters.....	104
Figure C.9 – Construction of the LLAS verification dipole antenna.....	107
Figure C.10 – Conversion factors C_{dA} [for conversion into dB(μA/m)] and C_{dV} [for conversion into dB(μV/m)] for two standard 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.....	
Figure C.10 – Sensitivity S_D of an LLA with diameter D relative to an LLA with 2 m diameter.....	110
Figure C.11 – Conversion factor C_{dA} [for conversion into dB(μ A/m)] for three standard measurement distances d	112
Figure D.1 – The Rayleigh criterion for roughness in the ground plane.....	116
Figure J.1 – Investigation of wire radius, normalized to 0,001 m.....	139

Figure J.2 – Investigation of feed point location (not to scale).....	140
Figure J.3 – Variation of NSIL values for various set-ups, for a distance of 3 m, $h = 1,3$ m.....	142
Figure J.4 – Specification of feed point location for tabular values (not to scale).....	143
Figure J.5 – Calculation examples, loop diameter 60 cm, feed point location per Figure J.4	145
Figure K.1 – Recommended minimum dimensions of the ground plane (top view).....	147
Figure K.2 – Recommended obstruction free area (top view)	148
Figure L.1 – Comparison of NSIL values by analytic formulas and computer simulation	151
Figure M.1 – Example site validation result.....	154
Figure M.2 – U_{lab} calculated from site validation result.....	155
Figure M.3 – Frequency-dependent correction factor	155
Figure N.1 – Antenna arrangement for the sum of antenna factors method	157
Table 9 – Maximum frequency step size	32
Table 10 – Acceptance criterion.....	36
Table 1 – Site validation methods applicable for OATS, OATS-based, SAC, and FAR site types	40
Table 2 – Theoretical normalized site attenuation, A_N – recommended geometries for broadband antennas ^a (1 of 2)	43
Table 3 – Example template for A_{APR} data sets	46
Table 4 – RSM frequency steps	46
Table 5 – Maximum dimensions of test volume versus test distance	55
Table 6 – Frequency ranges and step sizes for FAR site validation.....	59
Table 7 – S_{VSWR} measurement position designations (1 of 3).....	74
Table 8 – S_{VSWR} reporting requirements	79
Table C.1 – Reference validation factors of Figure C.8 for loops of 2 m, 3 m, and 4 m diameters.....	105
Table C.2 – Sensitivity S_D of an LLA with diameter D relative to an LLA with 2 m diameter (Figure C.10).....	111
Table C.3 – Magnetic field strength conversion factor C_{dA} for three measurement distances (Figure C.11).....	113
Table D.1 – Maximum roughness for 3 m, 10 m and 30 m measurement distances	116
Table F.1 – Error budget.....	120
Table G.1 – Antenna pair reference site attenuation calibration using the large-OATS averaging technique.....	122
Table G.2 – Antenna pair reference site attenuation calibration using REFTS	123
Table G.3 – COMTS validation using an antenna pair reference site attenuation.....	124
Table H.1 – Example uncertainty estimate for XPR measurement in a FAR and assumed $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB	128
Table H.2 – Uncertainties depending on other values of A_{xpT} (other assumptions as in Table H.1).....	129
Table H.3 – Example uncertainty estimate for XPR measurement at an OATS and assumed $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB	130
Table I.1 – Example measurement uncertainty budget for COMTS validation using the NSIL method.....	131

Table I.2 – Example measurement uncertainty budget for COMTS validation using the RSM method	133
Table J.1 – Calculation examples (loop diameter 60 cm, $d = 3$ m, $h = 1,3$ m).....	145
Table J.2 – Calculation examples (loop diameter 60 cm, $d = 5$ m, $h = 1,3$ m).....	145
Table J.3 – Calculation examples (loop diameter 60 cm, $d = 10$ m, $h = 1,3$ m).....	146
Table K.1 – Skin depth for some practical materials at 9 kHz	148
Table L.1 – Recommended NEC implementations	151
Table L.2 – Observed instabilities	152
Table M.1 – Measurement uncertainty of radiated disturbance results from 9 kHz to 30 MHz	153
Table M.2 – Influence of δA_j on U_{lab}	153
Table N.1 – Example of an uncertainty budget for sum of antenna factors method	157

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

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

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

FOREWORD

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

This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.

CISPR 16-1-4 edition 4.2 contains the fourth edition (2019-01) [documents CIS/A/1262/FDIS and CIS/A/1275/RVD], its amendment 1 (2020-06) [documents CIS/A/1316/FDIS and CIS/A/1320/RVD] and its amendment 2 (2023-04) [documents CIS/A/1389/FDIS and CIS/A/1393/RVD].

In this Redline version, a vertical line in the margin shows where the technical content is modified by amendments 1 and 2. Additions are in green text, deletions are in strikethrough red text. A separate Final version with all changes accepted is available in this publication.

This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- provisions are added to address test site validation in the frequency range from 30 MHz to 1000 MHz using the reference site method, to take into account the receive antenna radiation pattern in the frequency range from 1 GHz to 18 GHz, and further details on test site validation using the NSA method with broadband antennas in the frequency range from 30 MHz to 1 000 MHz.

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

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

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

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

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

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

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

SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY MEASURING APPARATUS AND METHODS –

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

1 Scope

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

NOTE In accordance with IEC Guide 107, CISPR 16-1-4 is a basic EMC publication for use by product committees of the IEC. As stated in Guide 107, product committees are responsible for determining the applicability of the EMC standard. CISPR and its sub-committees are prepared to cooperate with product committees in the evaluation of the value of particular EMC tests for specific products.

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

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

2 Normative references

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

CISPR 16-1-1:2019, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus*

CISPR 16-1-5:2014, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antenna calibration sites and reference test sites for 5 MHz to 18 GHz*
CISPR 16-1-5:2014/AMD1:2016

CISPR 16-1-6:2014, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – EMC antenna calibration*
CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2017
CISPR 16-1-6:2014/AMD2:2022

CISPR 16-2-3:2016, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity – Radiated disturbance measurements*
CISPR 16-2-3:2016/AMD1:2019
CISPR 16-2-3:2016/AMD2:20—

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

CISPR 16-4-2, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling – Measurement instrumentation uncertainty*

IEC 60050-161, *International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

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

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	170
1 Domaine d'application	172
2 Références normatives	172
3 Termes, définitions et termes abrégés	173
3.1 Termes et définitions	173
3.2 Termes abrégés	179
4 Antennes pour la mesure des perturbations radioélectriques rayonnées	180
4.1 Généralités	180
4.2 Paramètre physique (mesurande) pour les mesures des perturbations rayonnées	181
4.3 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 9 kHz et 150 kHz	181
4.3.1 Généralités	181
4.3.2 Antenne à champ magnétique	181
4.3.3 Blindage de l'antenne cadre	183
4.4 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 150 kHz et 30 MHz	183
4.4.1 Antenne à champ électrique	183
4.4.2 Antenne à champ magnétique	183
4.4.3 Symétrisation et discrimination du champ électrique des antennes	184
4.5 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 30 MHz et 1 000 MHz	184
4.5.1 Généralités	184
4.5.2 Antenne à faible incertitude pour utilisation en cas de non-conformité présumée des limites d'intensité du champ électrique	184
4.5.3 Caractéristiques d'antenne	184
4.5.4 Symétrisation de l'antenne	187
4.5.5 Réponse de polarisation croisée de l'antenne	188
4.6 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 1 GHz et 18 GHz	190
4.6.1 Généralités	190
4.6.2 Antenne de réception	190
4.7 Montages d'antennes particuliers – Système d'antennes de grand diamètre	193
5 Emplacements d'essai pour la mesure du champ radioélectrique perturbateur dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz	193
5.1 Généralités	193
5.2 Environnement radiofréquence ambiant d'un emplacement d'essai	194
5.3 Distance de mesure et volume d'essai	194
5.4 Table d'essai et positionneur d'antenne	194
5.5 Procédure de validation de l'emplacement d'essai	194
5.5.1 Généralités	194
5.5.2 Perte d'insertion normalisée de l'emplacement (NSIL)	199
5.5.3 Méthode de site de référence	199
5.5.4 Critère d'acceptation	200
6 Emplacements d'essai pour la mesure du champ radioélectrique perturbateur dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz	200
6.1 Généralités	200
6.2 OATS	200
6.2.1 Généralités	200
6.2.2 Enceinte de protection contre les intempéries	201

6.2.3	Zone sans obstacle.....	201
6.2.4	Environnement radiofréquence ambiant d'un emplacement d'essai	203
6.2.5	Plan de sol.....	204
6.3	Aptitude des autres emplacements d'essai.....	204
6.3.1	Autres emplacements d'essai à plan de sol.....	204
6.3.2	Emplacements d'essai sans plan de sol (FAR).....	204
6.4	Validation des emplacements d'essai.....	205
6.4.1	Généralités	205
6.4.2	Vue d'ensemble des validations d'un emplacement d'essai	206
6.5	Paramètres de base de la méthode du NSA pour OATS et SAC.....	206
6.5.1	Equation générale et tableau des valeurs de NSA théoriques	206
6.5.2	Etalonnage de l'antenne	210
6.6	Méthode de site de référence pour OATS et SAC	210
6.6.1	Généralités	210
6.6.2	Antennes non admises pour les mesures par RSM	211
6.6.3	Détermination de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes sur un REFTS	212
6.6.4	Détermination de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide d'une technique de moyennage sur un OATS de grandes dimensions.....	212
6.7	Validation d'un OATS par la méthode du NSA.....	216
6.7.1	Méthode de la fréquence discrète	216
6.7.2	Méthode par balayage de fréquence	217
6.8	Validation d'un OATS protégé contre les intempéries par une enceinte ou d'une SAC.....	217
6.9	Causes possibles de dépassement des limites d'acceptabilité de site	222
6.10	Validation de l'emplacement pour les FAR	223
6.10.1	Généralités	223
6.10.2	RSM pour les sites FAR.....	228
6.10.3	Méthode du NSA pour les sites FAR	230
6.10.4	Critère de validation de l'emplacement pour les sites FAR	232
6.11	Évaluation de la table d'essai et du pylône d'antenne	233
6.11.1	Généralités	233
6.11.2	Procédure d'évaluation de l'influence de la table d'essai	233
7	Emplacements d'essai pour la mesure des champs radioélectriques perturbateurs dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz.....	235
7.1	Généralités	235
7.2	Emplacement d'essai de référence.....	235
7.3	Validation des emplacements d'essai.....	235
7.3.1	Généralités	235
7.3.2	Critère d'acceptation pour la validation de l'emplacement	237
7.4	Exigences relatives à l'antenne pour la procédure d'essai normalisée avec le S_{VSWR}	237
7.4.1	Généralités	237
7.4.2	Antenne d'émission.....	238
7.4.3	Antennes et équipement d'essai pour la procédure d'essai inverse avec le S_{VSWR}	241
7.5	Positions exigées pour l'essai de validation de l'emplacement	241
7.5.1	Généralités	241

7.5.2	Description des positions de mesure de S_{VSWR} dans un plan horizontal (Figure 23).....	242
7.5.3	Description des positions supplémentaires de mesure de S_{VSWR} (Figure 24).....	243
7.5.4	Récapitulatif des positions de mesure de S_{VSWR}	244
7.6	Validation de l'emplacement de S_{VSWR} – procédure d'essai normalisée.....	247
7.7	Validation d'emplacement de S_{VSWR} – procédure d'essai inverse utilisant une sonde de champ isotrope	248
7.8	Exigences concernant la position conditionnelle des mesures de S_{VSWR}	250
7.9	Rapport d'essai de validation d'emplacement S_{VSWR}	251
7.10	Limites de la méthode de validation d'emplacement de S_{VSWR}	251
7.11	Autres emplacements d'essai.....	251
8	Dispositifs d'absorption en mode commun	252
8.1	Généralités	252
8.2	Mesures des paramètres S d'un CMAD	252
8.3	Montage d'essai de CMAD	252
8.4	Méthode de mesure utilisant l'étalonnage TRL	253
8.5	Spécification d'un CMAD du type à pince en ferrite	255
8.6	Vérification de la performance (dégradation) des CMAD en utilisant un analyseur de spectre et un générateur de poursuite.....	256
9	Chambre de réverbération pour la mesure de la puissance totale rayonnée.....	259
9.1	Généralités	259
9.2	Chambre	259
9.2.1	Dimensions et forme de la chambre	259
9.2.2	Porte, ouvertures dans les parois et équerres de montage.....	259
9.2.3	Agitateurs	259
9.2.4	Essai de rendement des agitateurs	259
9.2.5	Affaiblissement de couplage	259
10	Cellules Guides d'onde TEM pour les mesures d'immunité aux des perturbations rayonnées	262
Annexe A (normative)	Paramètres des antennes.....	263
A.1	Généralités	263
A.2	Antennes préférentielles	263
A.2.1	Généralités	263
A.2.2	Antenne calculable	263
A.2.3	Antennes à faible incertitude.....	264
A.3	Antennes doublets simples	264
A.3.1	Généralités	264
A.3.2	Doublet accordé.....	265
A.3.3	Doublet raccourci.....	265
A.4	Paramètres des antennes à large bande	267
A.4.1	Généralités	267
A.4.2	Type d'antenne	267
A.4.3	Spécification de l'antenne	268
A.4.4	Etalonnage de l'antenne	268
A.4.5	Informations pour les utilisateurs de l'antenne	268
Annexe B (xxx)	(Vide).....	270
Annexe C (normative)	Système d'antennes de grand diamètre pour les mesures du courant induit par un champ magnétique dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz	271

C.1	Généralités	271
C.2	Construction d'un LLAS.....	271
C.3	Construction d'une antenne de grand diamètre (LLA).....	271
C.4	Validation d'une du LLAS	276
C.5	Construction de l'antenne doublet de vérification du LLAS	280
C.6	Facteurs de conversion	283
C.6.1	Généralités	285
C.6.2	Facteurs de conversion actuels pour un LLAS de diamètre non normalisé	285
C.6.3	Conversion du courant mesuré du LLAS en intensité du champ magnétique	287
C.7	Exemples	289
Annexe D (normative) Détails de construction des emplacements d'essai en zone dégagée dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz (voir Article 6).....		
D.1	Généralités	291
D.2	Construction du plan de sol.....	291
D.2.1	Matériau	291
D.2.2	Rugosité	291
D.3	Servitudes de l'EUT	292
D.4	Construction de l'enceinte de protection contre les intempéries	292
D.4.1	Matériaux et attaches	292
D.4.1	Montages internes	293
D.4.2	Taille	293
D.4.3	Stabilité dans le temps et aux conditions climatiques	293
D.5	Table tournante et table d'essai	293
D.6	Installation du mât de l'antenne de réception	294
Annexe E (xxx) (Vide).....		
Annexe F (informative) Fondement du critère des ± 4 dB pour l'acceptabilité d'un emplacement (voir Article 6)		
F.1	Généralités	296
F.2	Analyse des erreurs	296
Annexe G (informative) Exemples de bilans d'incertitude pour la validation d'emplacement d'un COMTS à l'aide de la RSM avec une paire d'antennes étalonnées (voir 6.6).....		
G.1	Grandeurs à étudier pour l'étalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide de la technique de moyennage	298
G.2	Grandeurs à étudier pour l'étalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide d'un REFTS.....	299
G.3	Grandeurs à étudier pour la validation du COMTS à l'aide de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes	300
Annexe H (informative) Définition de l'incertitude de mesure de la réponse de polarisation croisée.....		
H.1	Généralités	301
H.2	Exemple d'estimation de l'incertitude	304
H.3	Justification des estimations des grandeurs d'entrée données dans le Tableau H.1 et le Tableau H.3	305
H.4	Mesurage de la XPR en dessous de 100 MHz sur un OATS.....	307
Annexe I (informative) Incertitudes de mesure des résultats de validation du COMTS dans la plage de fréquences de 9 kHz à 30 MHz.....		
I.1	Grandeurs à prendre en compte pour la validation du COMTS à l'aide de la méthode NSIL	308

I.2	Grandeurs à prendre en compte pour la validation du COMTS à l'aide de la méthode RSM	310
	Annexe J (normative) Dérivation des valeurs de NSIL dans la plage de fréquences de 9 kHz à 30 MHz	313
J.1	Généralités	313
J.2	Facteur d'antenne à champ magnétique.....	313
J.3	Perte d'insertion de l'emplacement.....	315
J.4	Perte d'insertion normalisée de l'emplacement.....	316
J.5	Tableaux de NSIL	320
	Annexe K (informative) Recommandations pour la conception des emplacements d'essai dans la plage de fréquences de 9 kHz à 30 MHz.....	325
K.1	Généralités	325
K.2	Dimensions et qualité du plan de sol.....	325
K.3	Zone sans obstacle.....	326
K.4	Zone sans résonance.....	326
	Annexe L (informative) Exactitude des valeurs de NSIL dans la plage de fréquences de 9 kHz à 30 MHz	328
L.1	Généralités	328
L.2	Vérification croisée du NEC avec des formules analytiques	328
L.3	Versions recommandées du NEC.....	329
L.4	Instabilités à l'extrémité inférieure de la plage de fréquences.....	330
L.5	Méthodes d'extrapolation pour résoudre les instabilités	330
L.6	Réduction du nombre de segments pour résoudre les instabilités	330
	Annexe M (informative) Exemple de calcul pour les SAC de 10 m qui ne satisfont pas au critère de ± 4 dB dans la plage de fréquences de 9 kHz à 30 MHz	331
	Annexe N (normative) Étalonnage de la somme des facteurs d'antenne du champ magnétique dans la plage de fréquences de 9 kHz à 30 MHz.....	334
N.1	Généralités	334
N.2	Procédure d'étalonnage	334
N.3	Incertitudes de mesure	335
	Bibliographie.....	337
	Figure 34 – Exemple d'antenne-cadre de taille adaptée	182
	Figure 1 – Représentation schématique du rayonnement de l'EUT atteignant une antenne LPDA directement et via réflexion sur le sol à un emplacement de 3 m, présentant la moitié de l'angle d'ouverture de faisceau, ϕ , au niveau du rayon réfléchi	186
	Figure 2 – Exemple de diagramme de rayonnement dans le plan E d'une antenne RX dans la zone limite grisée pour une distance de 3 m et un EUT d'une largeur de 2 m.....	191
	Figure 3 – Détermination de la largeur maximale exploitable de l'EUT dans le cadre de l'utilisation de l'ouverture de faisceau à mi-puissance	192
	Figure 4 – Détermination de la hauteur maximale exploitable de l'EUT dans le cadre de l'utilisation de l'ouverture de faisceau à mi-puissance	192
	Figure 35 – Disposition générale des trois orientations de mesure H_x , H_y et H_z , où d est la distance de mesure et h est la hauteur du point de référence	196
	Figure 36 – Positions d'antenne	197
	Figure 37 – Positions d'antenne	198
	Figure 38 – Montage d'essai pour V_{DIRECT} avec amplificateur de puissance et atténuateur	199
	Figure 5 – Zone sans obstacle d'un emplacement d'essai équipé d'une table tournante	202

Figure 6 – Zone sans obstacle avec EUT fixe	203
Figure 7 – Position des points d'essai pour un essai à des distances de 3 m et de 10 m	212
Figure 8 – Position des points d'essai appariés pour toutes les distances d'essai	214
Figure 9 – Exemple de choix de points d'essai appariés pour un essai à une distance de 10 m	215
Figure 10 – Représentation d'une étude de l'influence du mât d'antenne sur A_{APR}	215
Figure 11 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation verticale.....	219
Figure 12 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation horizontale.....	220
Figure 13 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation verticale pour un EUT de faibles dimensions	221
Figure 14 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation horizontale pour un EUT de faibles dimensions	222
Figure 15 – Positions de mesure pour la validation d'emplacement d'une FAR.....	225
Figure 16 – Exemple de position de mesure et d'inclinaison d'antenne pour la validation d'emplacement d'une FAR	227
Figure 17 – Montage de mesure du SA de référence type pour un emplacement d'essai en quasi espace libre	230
Figure 18 – NSA théorique en espace libre en fonction de la fréquence pour différentes distances de mesure [voir Equation (16)]	232
Figure 19 – Position de l'antenne par rapport au bord au-dessus d'une table d'essai rectangulaire (vue de dessus).....	235
Figure 20 – Position de l'antenne au-dessus de la table d'essai (vue de côté)	235
Figure 21 – Exemple de diagramme de rayonnement dans le plan E d'une antenne d'émission (à titre informatif uniquement).....	239
Figure 22 – Diagramme de rayonnement dans le plan H d'une antenne d'émission (exemple donné à titre informatif uniquement)	240
Figure 23 – Positions de mesure de S_{VSWR} dans un plan horizontal (voir description en 7.5.2)	242
Figure 24 – Positions de S_{VSWR} (exigences de hauteur).....	244
Figure 25 – Exigences concernant la position conditionnelle des mesures de S_{VSWR}	250
Figure 26 – Définition des plans de référence à l'intérieur du montage d'essai.....	253
Figure 27 – Les quatre configurations pour l'étalonnage TRL	255
Figure 28 – Limites pour l'amplitude de S_{11} , mesurée selon les dispositions de 8.1 à 8.3	256
Figure 29 – Exemple de conception d'adaptateur 50 Ω dans le flasque vertical du montage	257
Figure 30 – Exemple d'adaptateur avec symétriseur ou transformateur.....	258
Figure 31 – Exemple d'adaptateur avec réseau d'adaptation résistif	258
Figure 32 Exemple d'agitateur à aubes type.....
Figure 33 Gamme d'affaiblissement de couplage en fonction de la fréquence pour une chambre utilisant l'agitateur de la Figure 32.....
Figure A.1 – Facteurs d'antenne des doublets courts pour $R_L = 50 \Omega$	266
Figure C.1 – LLAS constitué de trois antennes de grand diamètre mutuellement perpendiculaires	273

Figure C.2 – LLA comportant deux fentes opposées, positionnées symétriquement par rapport à la sonde de courant	274
Figure C.3 – Construction de la fente de LLA.....	274
Figure C.4 – Exemple de construction de fente de LLA utilisant une bande de circuit imprimé pour obtenir une construction rigide.....	275
Figure C.5 – Construction du boîtier métallique renfermant la sonde de courant	275
Figure C.6 – Exemple montrant le cheminement de plusieurs câbles de l'EUT afin de réduire le plus possible le couplage capacitif entre les conducteurs et le LLAS.....	276
Figure C.7 – Les huit positions du doublet de vérification du LLAS durant la validation d'une LLA	278
Figure C.8 – Facteurs de validation d'une LLA de 2 m de diamètre de référence pour des boucles de 2 m, 3 m et 4 m de diamètre	279
Figure C.9 – Construction de l'antenne doublet de vérification du LLAS.....	282
Figure C.10 – Facteurs de conversion C_{dA} [pour la conversion en dB(μA/m)] et C_{dV} [pour la conversion en dB(μV/m)] pour deux distances de mesure normales d.....	286
Figure C.11 – Sensibilité S_D d'une antenne de grand diamètre d'un diamètre D par rapport à une antenne de grand diamètre ayant un diamètre de 2 m.....	288
Figure C.10 – Sensibilité S_D d'une LLA de diamètre D par rapport à une LLA de 2 m de diamètre	286
Figure C.11 – Facteur de conversion C_{dA} [pour la conversion en dB (μ A/m)] pour trois distances de mesure normalisées d	288
Figure D.1 – Critère de Rayleigh pour la rugosité du plan de sol.....	292
Figure J.1 – Étude du rayon du fil, normalisé à 0,001 m.....	317
Figure J.2 – Étude de la position du point d'alimentation (non à l'échelle).....	318
Figure J.3 – Variation des valeurs de NSIL pour différents montages, à une distance de 3 m, $h = 1,3$ m.....	320
Figure J.4 – Spécification de la position du point d'alimentation pour les valeurs présentes dans les tableaux (non à l'échelle).....	321
Figure J.5 – Exemples de calcul, diamètre du cadre de 60 cm, position des points d'alimentation selon la Figure J.4.....	323
Figure K.1 – Dimensions minimales recommandées du plan de sol (vue du dessus).....	325
Figure K.2 – Zone sans obstacle recommandée (vue du dessus).....	326
Figure L.1 – Comparaison des valeurs de NSIL obtenues par formules analytiques et simulation informatique	329
Figure M.1 – Exemple de résultat de validation de l'emplacement.....	332
Figure M.2 – U_{lab} calculée à partir du résultat de validation de l'emplacement	333
Figure M.3 – Facteur de correction dépendant de la fréquence	333
Figure N.1 – Disposition des antennes pour la méthode de somme des facteurs d'antenne.....	335
Tableau 9 – Pas de fréquence maximal	195
Tableau 10 – Critère d'acceptation.....	200
Tableau 1 – Méthodes de validation d'emplacement applicables pour les emplacements de type OATS, à base d'OATS, SAC et FAR.....	205
Tableau 2 – Affaiblissement normalisé théorique de l'emplacement, A_N – Géométries recommandées pour les antennes à large bande ^a (1 de 2)	208
Tableau 3 – Exemple de modèle pour les ensembles de données A_{APR}	211
Tableau 4 – Pas de fréquence de la RSM	211

Tableau 5 – Dimensions maximales du volume d'essai en fonction de la distance d'essai	223
Tableau 6 – Gammes de fréquences et pas pour la validation d'emplacement d'une FAR.....	228
Tableau 7 – Désignations des positions de mesure de S_{VSWR} (1 de 3).....	245
Tableau 8 – Exigences concernant les rapports de S_{VSWR}	251
Tableau C.1 – Facteurs de validation de référence de la Figure C.8 pour des boucles de 2 m, 3 m et 4 m de diamètre	280
Tableau C.2 – Sensibilité S_D d'une LLA de diamètre D par rapport à une LLA de 2 m de diamètre (Figure C.10).....	287
Tableau C.3 – Facteur de conversion de l'intensité du champ magnétique C_{dA} pour trois distances de mesure (Figure C.11).....	289
Tableau D.1 – Rugosité maximale pour des distances de mesure de 3 m, 10 m et 30 m	292
Tableau F.1 – Bilan d'erreur.....	296
Tableau G.1 – Etalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide de la technique de moyennage sur un OATS de grandes dimensions	298
Tableau G.2 – Etalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide du REFTS.....	299
Tableau G.3 – Validation du COMTS à l'aide de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes	300
Tableau H.1 – Exemple d'estimation de l'incertitude pour le mesurage de la XPR dans une FAR avec des valeurs $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB définies par hypothèse.....	305
Tableau H.2 – Incertitudes dépendant des autres valeurs de A_{xpT} (autres hypothèses que celles retenues dans le Tableau H.1)	307
Tableau H.3 – Exemple d'estimation de l'incertitude pour un mesurage de la XPR sur un OATS avec des valeurs $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB définies par hypothèse	307
Tableau I.1 – Exemple de bilan d'incertitude de mesure pour la validation du COMTS à l'aide de la méthode NSIL	308
Tableau I.2 – Exemple de bilan d'incertitude de mesure pour la validation du COMTS à l'aide de la méthode RSM	311
Tableau J.1 – Exemples de calcul (diamètre du cadre de 60 cm, $d = 3$ m, $h = 1,3$ m)	323
Tableau J.2 – Exemples de calcul (diamètre du cadre de 60 cm, $d = 5$ m, $h = 1,3$ m)	323
Tableau J.3 – Exemples de calcul (diamètre du cadre de 60 cm, $d = 10$ m, $h = 1,3$ m)	324
Tableau K.1 – Épaisseur de peau pour certains matériaux pratiques à 9 kHz.....	326
Tableau L.1 – Mises en œuvre recommandées du NEC	329
Tableau L.2 – Instabilités observées	330
Tableau M.1 – Incertitude de mesure des résultats des perturbations rayonnées de 9 kHz à 30 MHz	331
Tableau M.2 – Influence de δA_i sur U_{lab}	331
Tableau N.1 – Exemple de bilan d'incertitude pour la méthode de somme des facteurs d'antenne.....	335

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

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

Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées

AVANT-PROPOS

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

Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de son amendement a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.

La CISPR 16-1-4 édition 4.2 contient la quatrième édition (2019-01) [documents CIS/A/1262/FDIS et CIS/A/1275/RVD], son amendement 1 (2020-06) [documents

CIS/A/1316/FDIS et CIS/A/1320/RVD] et son amendement 2 (2023-04) [documents CIS/A/1389/FDIS et CIS/A/1393/RVD].

Dans cette version Redline, une ligne verticale dans la marge indique où le contenu technique est modifié par les amendements 1 et 2. Les ajouts sont en vert, les suppressions sont en rouge, barrées. Une version Finale avec toutes les modifications acceptées est disponible dans cette publication.

Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- des dispositions ont été ajoutées pour traiter la validation des emplacements d'essai dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz en utilisant la méthode de site de référence, pour tenir compte du diagramme de rayonnement de l'antenne de réception dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz, ainsi qu'une description plus détaillée de la validation des emplacements d'essai par la méthode du NSA avec des antennes à large bande dans la plage de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz.

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

Elle a le statut d'une publication fondamentale en CEM conformément au Guide IEC 107, *Compatibilité électromagnétique – Guide pour la rédaction des publications sur la compatibilité électromagnétique*.

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

Une liste de toutes les parties de la série CISPR 16, publiées sous le titre général *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

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

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

Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées

1 Domaine d'application

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

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

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

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

2 Références normatives

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

CISPR 16-1-1:2019, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Appareils de mesure*

CISPR 16-1-5:2014, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-5: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Emplacements d'étalonnage d'antenne et emplacements d'essai de référence pour la plage comprise entre 5 MHz et 18 GHz*
CISPR 16-1-5:2014/AMD1:2016

CISPR 16-1-6:2014, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-6: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Etalonnage des antennes CEM*

CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2016

CISPR 16-1-6:2014/AMD2:2022

CISPR 16-2-3:2016, *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 – Mesurages des perturbations rayonnées*

CISPR 16-2-3:2016/AMD1:2019

CISPR 16-2-3:2016/AMD2:20—

CISPR TR 16-3, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 3: Rapports techniques du CISPR*

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

IEC 60050-161, *Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

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

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

FINAL VERSION

VERSION FINALE



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 – Antennas and test sites for radiated disturbance measurements

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

Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées

CONTENTS

FOREWORD.....	9
1 Scope.....	11
2 Normative references	11
3 Terms, definitions and abbreviated terms	12
3.1 Terms and definitions.....	12
3.2 Abbreviated terms.....	17
4 Antennas for measurement of radiated radio disturbance	18
4.1 General.....	18
4.2 Physical parameter (measurand) for radiated disturbance measurements	18
4.3 Antennas for the frequency range 9 kHz to 150 kHz.....	18
4.3.1 General.....	18
4.3.2 Magnetic field antenna.....	19
4.3.3 Shielding of loop antenna	20
4.4 Antennas for the frequency range 150 kHz to 30 MHz.....	20
4.4.1 Electric field antenna	20
4.4.2 Magnetic field antenna.....	20
4.4.3 Balance and electric field discrimination of antennas	21
4.5 Antennas for the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz.....	21
4.5.1 General.....	21
4.5.2 Low-uncertainty antenna for use if there is an alleged non-compliance to the electric disturbance field strength limit	21
4.5.3 Antenna characteristics.....	21
4.5.4 Balance of antenna	23
4.5.5 Cross-polar response of antenna	24
4.6 Antennas for the frequency range 1 GHz to 18 GHz.....	25
4.6.1 General.....	25
4.6.2 Receive antenna.....	26
4.7 Special antenna arrangements – large-loop antenna system.....	28
5 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range of 9 kHz to 30 MHz	29
5.1 General.....	29
5.2 Radio-frequency ambient environment of a test site	29
5.3 Measurement distance and test volume	29
5.4 Set-up table and antenna positioner.....	29
5.5 Validation procedure of test site.....	29
5.5.1 General.....	29
5.5.2 Normalized site insertion loss (NSIL)	34
5.5.3 Reference site method	34
5.5.4 Acceptance criterion	35
6 Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz	35
6.1 General.....	35
6.2 OATS.....	35
6.2.1 General.....	35
6.2.2 Weather-protection enclosure	36
6.2.3 Obstruction-free area	36
6.2.4 Radio-frequency ambient environment of a test site.....	37

6.2.5	Ground plane	38
6.3	Suitability of other test sites	38
6.3.1	Other ground-plane test sites	38
6.3.2	Test sites without ground plane (FAR)	38
6.4	Test site validations	39
6.4.1	General.....	39
6.4.2	Overview of test site validations	39
6.5	Basic parameters of the NSA method for OATS and SAC.....	40
6.5.1	General equation and table of theoretical NSA values.....	40
6.5.2	Antenna calibration	44
6.6	Reference site method for OATS and SAC	44
6.6.1	General.....	44
6.6.2	Antennas not permitted for RSM measurements	45
6.6.3	Determination of the antenna pair reference site attenuation on a REFTS	45
6.6.4	Determination of the antenna pair reference site attenuation using an averaging technique on a large OATS.....	46
6.7	Validation of an OATS by the NSA method	49
6.7.1	Discrete frequency method	49
6.7.2	Swept frequency method.....	50
6.8	Validation of a weather-protection-enclosed OATS or a SAC	51
6.9	Possible causes for exceeding site acceptability limits	53
6.10	Site validation for FARs	54
6.10.1	General.....	54
6.10.2	RSM for FAR sites	58
6.10.3	NSA method for FAR sites	60
6.10.4	Site validation criteria for FAR sites	62
6.11	Evaluation of set-up table and antenna tower.....	62
6.11.1	General.....	62
6.11.2	Evaluation procedure for set-up table influences.....	63
7	Test sites for measurement of radio disturbance field strength for the frequency range 1 GHz to 18 GHz	64
7.1	General.....	64
7.2	Reference test site	65
7.3	Test site validation.....	65
7.3.1	General.....	65
7.3.2	Acceptance criterion for site validation.....	66
7.4	Antenna requirements for S_{VSWR} standard test procedure	66
7.4.1	General.....	66
7.4.2	Transmit antenna	67
7.4.3	Antennas and test equipment for the S_{VSWR} reciprocal test procedure	69
7.5	Required positions for site validation testing	70
7.5.1	General.....	70
7.5.2	Descriptions of S_{VSWR} measurement positions in a horizontal plane (Figure 23).....	70
7.5.3	Descriptions of S_{VSWR} additional measurement positions (Figure 24).....	71
7.5.4	Summary of S_{VSWR} measurement positions.....	72
7.6	S_{VSWR} site validation – standard test procedure	75
7.7	S_{VSWR} site validation – reciprocal test procedure using an isotropic field probe	76

7.8	S_{VSWR} conditional measurement position requirements	77
7.9	S_{VSWR} site validation test report	78
7.10	Limitations of the S_{VSWR} site validation method	78
7.11	Alternative test sites	79
8	Common mode absorption devices	79
8.1	General	79
8.2	CMAD S -parameter measurements	79
8.3	CMAD test jig	79
8.4	Measurement method using the TRL calibration	80
8.5	Specification of ferrite clamp-type CMAD	82
8.6	CMAD performance (degradation) check using spectrum analyzer and tracking generator	83
9	Reverberating chamber for total radiated power measurement	85
10	TEM waveguides for radiated disturbance measurements	85
Annex A	(normative) Parameters of antennas	86
A.1	General	86
A.2	Preferred antennas	86
A.2.1	General	86
A.2.2	Calculable antenna	86
A.2.3	Low-uncertainty antennas	86
A.3	Simple dipole antennas	87
A.3.1	General	87
A.3.2	Tuned dipole	88
A.3.3	Shortened dipole	88
A.4	Broadband antenna parameters	89
A.4.1	General	89
A.4.2	Antenna type	90
A.4.3	Specification of the antenna	90
A.4.4	Antenna calibration	91
A.4.5	Antenna user information	91
Annex B	(XXX) (Void)	92
Annex C	(normative) Large-loop antenna system for magnetic field induced-current measurements in the frequency range of 9 kHz to 30 MHz	93
C.1	General	93
C.2	Construction of an LLAS	93
C.3	Construction of a large-loop antenna (LLA)	93
C.4	Validation of an LLAS	98
C.5	Construction of the LLAS verification dipole antenna	100
C.6	Conversion factors	101
C.6.1	General	101
C.6.2	Current conversion factors for an LLAS with non-standard diameter	102
C.6.3	Conversion of LLAS measured current to magnetic field strength	103
C.7	Examples	105
Annex D	(normative) Construction details for open area test sites in the frequency range of 30 MHz to 1 000 MHz (see Clause 6)	107
D.1	General	107
D.2	Ground plane construction	107
D.2.1	Material	107
D.2.2	Roughness	107

D.3	Services to EUT	108
D.4	Weather-protection enclosure construction	108
D.4.1	Materials and fasteners	108
D.4.2	Internal arrangements	109
D.4.3	Size	109
D.4.4	Uniformity with time and weather	109
D.5	Turntable and set-up table	109
D.6	Receive antenna mast installation	110
Annex E (xxx) (Void)		111
Annex F (informative) Basis for ± 4 dB site acceptability criterion (see Clause 6)		112
F.1	General	112
F.2	Error analysis	112
Annex G (informative) Examples of uncertainty budgets for site validation of a COMTS using RSM with a calibrated antenna pair (see 6.6)		114
G.1	Quantities to be considered for antenna pair reference site attenuation calibration using the averaging technique	114
G.2	Quantities to be considered for antenna pair reference site attenuation calibration using a REFTS	115
G.3	Quantities to be considered for COMTS validation using an antenna pair reference site attenuation	116
Annex H (informative) Definition of uncertainty in cross-polar response measurement		117
H.1	General	117
H.2	Example uncertainty estimate	119
H.3	Rationale for the estimates of input quantities in Table H.1 and Table H.3	120
H.4	Measurement of XPR below 100 MHz at an OATS	121
Annex I (informative) Measurement uncertainties of COMTS validation results in the frequency range 9 kHz to 30 MHz		123
I.1	Quantities to be considered for COMTS validation using the NSIL method	123
I.2	Quantities to be considered for COMTS validation using the RSM method	125
Annex J (normative) Derivation of NSIL values in the frequency range 9 kHz to 30 MHz		127
J.1	General	127
J.2	Magnetic field antenna factor	127
J.3	Site insertion loss	129
J.4	Normalized site insertion loss	130
J.5	NSIL tables	134
Annex K (informative) Recommendations for the design of test sites in the frequency range 9 kHz to 30 MHz		139
K.1	General	139
K.2	Dimensions and quality of the ground plane	139
K.3	Obstruction free area	140
K.4	Resonance-free area	140
Annex L (informative) Accuracy of NSIL values in the frequency range of 9 kHz to 30 MHz		142
L.1	General	142
L.2	Cross check of NEC with analytic formulas	142
L.3	Recommended NEC versions	143
L.4	Instabilities at the lower frequency end	144
L.5	Extrapolation methods to solve instabilities	144

L.6	Reducing the number of segments to solve instabilities	144
Annex M (informative)	Example calculation for 10 m SACs that do not fulfil the ± 4 dB criterion within 9 kHz to 30 MHz.....	145
Annex N (normative)	Calibration of the sum of magnetic field antenna factors in the frequency range of 9 kHz to 30 MHz	148
N.1	General.....	148
N.2	Calibration procedure.....	148
N.3	Measurement uncertainties	149
	Bibliography.....	151
Figure 34	– Example of size-compliant loop antenna.....	19
Figure 1	– Schematic of radiation from EUT reaching an LPDA antenna directly and via ground reflection at a 3 m site, showing the beamwidth half-angle, ϕ , at the reflected ray.....	22
Figure 2	– RX antenna E-plane radiation pattern example, with limit area shaded for 3 m distance and 2 m EUT width.....	27
Figure 3	– Determination of maximum useable EUT width using half-power beamwidth	27
Figure 4	– Determination of maximum useable EUT height using half-power beamwidth	28
Figure 35	– General arrangement of the three measurement orientations H_x , H_y and H_z , where d is the measurement distance and h is the height of the reference point	31
Figure 36	– Antenna positions.....	32
Figure 37	– Antenna positions.....	33
Figure 38	– Test set-up for V_{DIRECT} with power amplifier and attenuator	34
Figure 5	– Obstruction-free area of a test site with a turntable	37
Figure 6	– Obstruction-free area with stationary EUT	37
Figure 7	– Test point locations for 3 m and 10 m test distances	46
Figure 8	– Paired test point locations for all test distances.....	48
Figure 9	– Example of paired test point selection for a test distance of 10 m.....	48
Figure 10	– Illustration of an investigation of influence of antenna mast on A_{APR}	49
Figure 11	– Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – vertical polarization validation measurements	52
Figure 12	– Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – horizontal polarization validation measurements	52
Figure 13	– Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – vertical polarization validation measurements for a smaller EUT	53
Figure 14	– Typical antenna positions for a weather-protected OATS or a SAC – horizontal polarization validation measurements for a smaller EUT	53
Figure 15	– Measurement positions for FAR site validation	56
Figure 16	– Example of one measurement position and antenna tilt for FAR site validation	58
Figure 17	– Typical quasi free-space test site reference SA measurement set-up	60
Figure 18	– Theoretical free-space NSA as a function of frequency for different measurement distances [see Equation (16)].....	62
Figure 19	– Position of the antenna relative to the edge above a rectangle set-up table (top view).....	64
Figure 20	– Antenna position above the set-up table (side view).....	64
Figure 21	– Transmit antenna E-plane radiation pattern example (this example is for informative purposes only).....	68

Figure 22 – Transmit antenna H-plane radiation pattern (this example is for informative purposes only)	69
Figure 23 – S_{VSWR} measurement positions in a horizontal plane (see 7.5.2 for description).....	70
Figure 24 – S_{VSWR} positions (height requirements)	72
Figure 25 – S_{VSWR} conditional measurement position requirements	78
Figure 26 – Definition of the reference planes inside the test jig	80
Figure 27 – The four configurations for the TRL calibration	82
Figure 28 – Limits for the magnitude of S_{11} , measured according to the provisions of 8.1 to 8.3	83
Figure 29 – Example of a 50 Ω adaptor construction in the vertical flange of the jig	84
Figure 30 – Example of a matching adaptor with balun or transformer	84
Figure 31 – Example of a matching adaptor with resistive matching network.....	85
Figure A.1 – Short dipole antenna factors for $R_L = 50 \Omega$	89
Figure C.1 – The LLAS, consisting of three mutually perpendicular large-loop antennas	95
Figure C.2 – An LLA containing two opposite slits, positioned symmetrically with respect to the current probe C	96
Figure C.3 – Construction of an LLA slit.....	96
Figure C.4 – Example of an LLA slit construction using a strap of printed circuit board to obtain a rigid construction.....	97
Figure C.5 – Construction of the metal box containing the current probe.....	97
Figure C.6 – Example showing the routing of several cables from an EUT to minimize capacitive coupling from the leads to the LLAS	98
Figure C.7 – The eight positions of the LLAS verification dipole during validation of an LLA.....	99
Figure C.8 – Reference validation factors for loops of 2 m, 3 m, and 4 m diameters.....	99
Figure C.9 – Construction of the LLAS verification dipole antenna	101
Figure C.10 – Sensitivity S_D of an LLA with diameter D relative to an LLA with 2 m diameter	102
Figure C.11 – Conversion factor C_{dA} [for conversion into dB(μ A/m)] for three standard measurement distances d	104
Figure D.1 – The Rayleigh criterion for roughness in the ground plane	108
Figure J.1 – Investigation of wire radius, normalized to 0,001 m	131
Figure J.2 – Investigation of feed point location (not to scale).....	132
Figure J.3 – Variation of NSIL values for various set-ups, for a distance of 3 m, $h = 1,3$ m.....	134
Figure J.4 – Specification of feed point location for tabular values (not to scale).....	135
Figure J.5 – Calculation examples, loop diameter 60 cm, feed point location per Figure J.4	137
Figure K.1 – Recommended minimum dimensions of the ground plane (top view).....	139
Figure K.2 – Recommended obstruction free area (top view)	140
Figure L.1 – Comparison of NSIL values by analytic formulas and computer simulation	143
Figure M.1 – Example site validation result.....	146
Figure M.2 – U_{lab} calculated from site validation result.....	147
Figure M.3 – Frequency-dependent correction factor	147
Figure N.1 – Antenna arrangement for the sum of antenna factors method	149

Table 9 – Maximum frequency step size	30
Table 10 – Acceptance criterion.....	35
Table 1 – Site validation methods applicable for OATS, OATS-based, SAC, and FAR site types	39
Table 2 – Theoretical normalized site attenuation, A_N – recommended geometries for broadband antennas ^a (1 of 2)	42
Table 3 – Example template for A_{APR} data sets	45
Table 4 – RSM frequency steps	45
Table 5 – Maximum dimensions of test volume versus test distance	54
Table 6 – Frequency ranges and step sizes for FAR site validation.....	58
Table 7 – S_{VSWR} measurement position designations (1 of 3).....	73
Table 8 – S_{VSWR} reporting requirements	78
Table C.1 – Reference validation factors of Figure C.8 for loops of 2 m, 3 m, and 4 m diameters.....	100
Table C.2 – Sensitivity S_D of an LLA with diameter D relative to an LLA with 2 m diameter (Figure C.10).....	103
Table C.3 – Magnetic field strength conversion factor C_{dA} for three measurement distances (Figure C.11).....	105
Table D.1 – Maximum roughness for 3 m, 10 m and 30 m measurement distances	108
Table F.1 – Error budget.....	112
Table G.1 – Antenna pair reference site attenuation calibration using the large-OATS averaging technique.....	114
Table G.2 – Antenna pair reference site attenuation calibration using REFTS	115
Table G.3 – COMTS validation using an antenna pair reference site attenuation.....	116
Table H.1 – Example uncertainty estimate for XPR measurement in a FAR and assumed $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB	120
Table H.2 – Uncertainties depending on other values of A_{xpT} (other assumptions as in Table H.1).....	121
Table H.3 – Example uncertainty estimate for XPR measurement at an OATS and assumed $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB	122
Table I.1 – Example measurement uncertainty budget for COMTS validation using the NSIL method.....	123
Table I.2 – Example measurement uncertainty budget for COMTS validation using the RSM method.....	125
Table J.1 – Calculation examples (loop diameter 60 cm, $d = 3$ m, $h = 1,3$ m).....	137
Table J.2 – Calculation examples (loop diameter 60 cm, $d = 5$ m, $h = 1,3$ m).....	137
Table J.3 – Calculation examples (loop diameter 60 cm, $d = 10$ m, $h = 1,3$ m).....	138
Table K.1 – Skin depth for some practical materials at 9 kHz	140
Table L.1 – Recommended NEC implementations	143
Table L.2 – Observed instabilities	144
Table M.1 – Measurement uncertainty of radiated disturbance results from 9 kHz to 30 MHz	145
Table M.2 – Influence of δA_i on U_{lab}	145
Table N.1 – Example of an uncertainty budget for sum of antenna factors method	149

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

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

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

FOREWORD

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

This consolidated version of the official IEC Standard and its amendment has been prepared for user convenience.

CISPR 16-1-4 edition 4.2 contains the fourth edition (2019-01) [documents CIS/A/1262/FDIS and CIS/A/1275/RVD], its amendment 1 (2020-06) [documents CIS/A/1316/FDIS and CIS/A/1320/RVD] and its amendment 2 (2023-04) [documents CIS/A/1389/FDIS and CIS/A/1393/RVD].

This Final version does not show where the technical content is modified by amendments 1 and 2. A separate Redline version with all changes highlighted is available in this publication.

This edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- provisions are added to address test site validation in the frequency range from 30 MHz to 1000 MHz using the reference site method, to take into account the receive antenna radiation pattern in the frequency range from 1 GHz to 18 GHz, and further details on test site validation using the NSA method with broadband antennas in the frequency range from 30 MHz to 1 000 MHz.

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

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

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

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

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

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

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

SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY MEASURING APPARATUS AND METHODS –

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

1 Scope

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

NOTE In accordance with IEC Guide 107, CISPR 16-1-4 is a basic EMC publication for use by product committees of the IEC. As stated in Guide 107, product committees are responsible for determining the applicability of the EMC standard. CISPR and its sub-committees are prepared to cooperate with product committees in the evaluation of the value of particular EMC tests for specific products.

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

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

2 Normative references

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

CISPR 16-1-1:2019, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus*

CISPR 16-1-5:2014, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-5: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Antenna calibration sites and reference test sites for 5 MHz to 18 GHz*
CISPR 16-1-5:2014/AMD1:2016

CISPR 16-1-6:2014, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – EMC antenna calibration*

CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2017
CISPR 16-1-6:2014/AMD2:2022

CISPR 16-2-3:2016, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 2-3: Methods of measurement of disturbances and immunity – Radiated disturbance measurements*

CISPR 16-2-3:2016/AMD1:2019
CISPR 16-2-3:2016/AMD2:20—

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

CISPR 16-4-2, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 4-2: Uncertainties, statistics and limit modelling – Measurement instrumentation uncertainty*

IEC 60050-161, *International Electrotechnical Vocabulary. Chapter 161: Electromagnetic compatibility*

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

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

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	162
1 Domaine d'application	164
2 Références normatives	164
3 Termes, définitions et termes abrégés	165
3.1 Termes et définitions	165
3.2 Termes abrégés	171
4 Antennes pour la mesure des perturbations radioélectriques rayonnées	172
4.1 Généralités	172
4.2 Paramètre physique (mesurande) pour les mesures des perturbations rayonnées	172
4.3 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 9 kHz et 150 kHz	172
4.3.1 Généralités	172
4.3.2 Antenne à champ magnétique	173
4.3.3 Blindage de l'antenne cadre	174
4.4 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 150 kHz et 30 MHz	174
4.4.1 Antenne à champ électrique	174
4.4.2 Antenne à champ magnétique	175
4.4.3 Symétrisation et discrimination du champ électrique des antennes	175
4.5 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 30 MHz et 1 000 MHz	175
4.5.1 Généralités	175
4.5.2 Antenne à faible incertitude pour utilisation en cas de non-conformité présumée des limites d'intensité du champ électrique	175
4.5.3 Caractéristiques d'antenne	176
4.5.4 Symétrisation de l'antenne	178
4.5.5 Réponse de polarisation croisée de l'antenne	179
4.6 Antennes pour la plage de fréquences comprises entre 1 GHz et 18 GHz	181
4.6.1 Généralités	181
4.6.2 Antenne de réception	181
4.7 Montages d'antennes particuliers – Système d'antennes de grand diamètre	184
5 Emplacements d'essai pour la mesure du champ radioélectrique perturbateur dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz	184
5.1 Généralités	184
5.2 Environnement radiofréquence ambiant d'un emplacement d'essai	184
5.3 Distance de mesure et volume d'essai	185
5.4 Table d'essai et positionneur d'antenne	185
5.5 Procédure de validation de l'emplacement d'essai	185
5.5.1 Généralités	185
5.5.2 Perte d'insertion normalisée de l'emplacement (NSIL)	189
5.5.3 Méthode de site de référence	189
5.5.4 Critère d'acceptation	190
6 Emplacements d'essai pour la mesure du champ radioélectrique perturbateur dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz	190
6.1 Généralités	190
6.2 OATS	190
6.2.1 Généralités	190
6.2.2 Enceinte de protection contre les intempéries	191

6.2.3	Zone sans obstacle.....	191
6.2.4	Environnement radiofréquence ambiant d'un emplacement d'essai	193
6.2.5	Plan de sol.....	194
6.3	Aptitude des autres emplacements d'essai.....	194
6.3.1	Autres emplacements d'essai à plan de sol.....	194
6.3.2	Emplacements d'essai sans plan de sol (FAR).....	194
6.4	Validation des emplacements d'essai.....	195
6.4.1	Généralités	195
6.4.2	Vue d'ensemble des validations d'un emplacement d'essai	196
6.5	Paramètres de base de la méthode du NSA pour OATS et SAC.....	196
6.5.1	Equation générale et tableau des valeurs de NSA théoriques	196
6.5.2	Etalonnage de l'antenne	200
6.6	Méthode de site de référence pour OATS et SAC	200
6.6.1	Généralités	200
6.6.2	Antennes non admises pour les mesures par RSM	201
6.6.3	Détermination de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes sur un REFTS	202
6.6.4	Détermination de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide d'une technique de moyennage sur un OATS de grandes dimensions.....	202
6.7	Validation d'un OATS par la méthode du NSA.....	206
6.7.1	Méthode de la fréquence discrète	206
6.7.2	Méthode par balayage de fréquence	207
6.8	Validation d'un OATS protégé contre les intempéries par une enceinte ou d'une SAC.....	207
6.9	Causes possibles de dépassement des limites d'acceptabilité de site	212
6.10	Validation de l'emplacement pour les FAR	213
6.10.1	Généralités	213
6.10.2	RSM pour les sites FAR.....	218
6.10.3	Méthode du NSA pour les sites FAR	220
6.10.4	Critère de validation de l'emplacement pour les sites FAR	222
6.11	Évaluation de la table d'essai et du pylône d'antenne	223
6.11.1	Généralités	223
6.11.2	Procédure d'évaluation de l'influence de la table d'essai	223
7	Emplacements d'essai pour la mesure des champs radioélectriques perturbateurs dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz.....	225
7.1	Généralités	225
7.2	Emplacement d'essai de référence.....	225
7.3	Validation des emplacements d'essai.....	225
7.3.1	Généralités	225
7.3.2	Critère d'acceptation pour la validation de l'emplacement	227
7.4	Exigences relatives à l'antenne pour la procédure d'essai normalisée avec le S_{VSWR}	227
7.4.1	Généralités	227
7.4.2	Antenne d'émission.....	228
7.4.3	Antennes et équipement d'essai pour la procédure d'essai inverse avec le S_{VSWR}	231
7.5	Positions exigées pour l'essai de validation de l'emplacement	231
7.5.1	Généralités	231

7.5.2	Description des positions de mesure de S_{VSWR} dans un plan horizontal (Figure 23).....	232
7.5.3	Description des positions supplémentaires de mesure de S_{VSWR} (Figure 24).....	233
7.5.4	Récapitulatif des positions de mesure de S_{VSWR}	234
7.6	Validation de l'emplacement de S_{VSWR} – procédure d'essai normalisée.....	237
7.7	Validation d'emplacement de S_{VSWR} – procédure d'essai inverse utilisant une sonde de champ isotrope	238
7.8	Exigences concernant la position conditionnelle des mesures de S_{VSWR}	240
7.9	Rapport d'essai de validation d'emplacement S_{VSWR}	241
7.10	Limites de la méthode de validation d'emplacement de S_{VSWR}	241
7.11	Autres emplacements d'essai.....	241
8	Dispositifs d'absorption en mode commun	242
8.1	Généralités	242
8.2	Mesures des paramètres S d'un CMAD	242
8.3	Montage d'essai de CMAD	242
8.4	Méthode de mesure utilisant l'étalonnage TRL	243
8.5	Spécification d'un CMAD du type à pince en ferrite	245
8.6	Vérification de la performance (dégradation) des CMAD en utilisant un analyseur de spectre et un générateur de poursuite.....	246
9	Chambre de réverbération pour la mesure de la puissance totale rayonnée.....	249
10	Guides d'onde TEM pour les mesures des perturbations rayonnées	249
Annexe A (normative) Paramètres des antennes.....		250
A.1	Généralités	250
A.2	Antennes préférentielles	250
A.2.1	Généralités	250
A.2.2	Antenne calculable	250
A.2.3	Antennes à faible incertitude.....	251
A.3	Antennes doublets simples	251
A.3.1	Généralités	251
A.3.2	Doublet accordé.....	252
A.3.3	Doublet raccourci.....	252
A.4	Paramètres des antennes à large bande	254
A.4.1	Généralités	254
A.4.2	Type d'antenne	254
A.4.3	Spécification de l'antenne	255
A.4.4	Etalonnage de l'antenne	255
A.4.5	Informations pour les utilisateurs de l'antenne	255
Annexe B (xxx) (Vide).....		257
Annexe C (normative) Système d'antennes de grand diamètre pour les mesures du courant induit par un champ magnétique dans la gamme de fréquences de 9 kHz à 30 MHz		258
C.1	Généralités	258
C.2	Construction d'un LLAS.....	258
C.3	Construction d'une antenne de grand diamètre (LLA).....	258
C.4	Validation du LLAS	263
C.5	Construction de l'antenne doublet de vérification du LLAS	265
C.6	Facteurs de conversion.....	266
C.6.1	Généralités	266

C.6.2	Facteurs de conversion actuels pour un LLAS de diamètre non normalisé	266
C.6.3	Conversion du courant mesuré du LLAS en intensité du champ magnétique	268
C.7	Exemples	270
Annexe D (normative)	Détails de construction des emplacements d'essai en zone dégagée dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz (voir Article 6)	272
D.1	Généralités	272
D.2	Construction du plan de sol	272
D.2.1	Matériau	272
D.2.2	Rugosité	272
D.3	Servitudes de l'EUT	273
D.4	Construction de l'enceinte de protection contre les intempéries	273
D.4.1	Matériaux et attaches	273
D.4.1	Montages internes	274
D.4.2	Taille	274
D.4.3	Stabilité dans le temps et aux conditions climatiques	274
D.5	Table tournante et table d'essai	274
D.6	Installation du mât de l'antenne de réception	275
Annexe E (xxx) (Vide)	276
Annexe F (informative)	Fondement du critère des ± 4 dB pour l'acceptabilité d'un emplacement (voir Article 6)	277
F.1	Généralités	277
F.2	Analyse des erreurs	277
Annexe G (informative)	Exemples de bilans d'incertitude pour la validation d'emplacement d'un COMTS à l'aide de la RSM avec une paire d'antennes étalonnées (voir 6.6)	279
G.1	Grandeurs à étudier pour l'étalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide de la technique de moyennage	279
G.2	Grandeurs à étudier pour l'étalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide d'un REFTS	280
G.3	Grandeurs à étudier pour la validation du COMTS à l'aide de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes	281
Annexe H (informative)	Définition de l'incertitude de mesure de la réponse de polarisation croisée	282
H.1	Généralités	282
H.2	Exemple d'estimation de l'incertitude	285
H.3	Justification des estimations des grandeurs d'entrée données dans le Tableau H.1 et le Tableau H.3	286
H.4	Mesurage de la XPR en dessous de 100 MHz sur un OATS	288
Annexe I (informative)	Incertitudes de mesure des résultats de validation du COMTS dans la plage de fréquences de 9 kHz à 30 MHz	289
I.1	Grandeurs à prendre en compte pour la validation du COMTS à l'aide de la méthode NSIL	289
I.2	Grandeurs à prendre en compte pour la validation du COMTS à l'aide de la méthode RSM	291
Annexe J (normative)	Dérivation des valeurs de NSIL dans la plage de fréquences de 9 kHz à 30 MHz	294
J.1	Généralités	294
J.2	Facteur d'antenne à champ magnétique	294
J.3	Perte d'insertion de l'emplacement	296

J.4	Perte d'insertion normalisée de l'emplacement.....	297
J.5	Tableaux de NSIL	301
Annexe K (informative) Recommandations pour la conception des emplacements d'essai dans la plage de fréquences de 9 kHz à 30 MHz		306
K.1	Généralités	306
K.2	Dimensions et qualité du plan de sol.....	306
K.3	Zone sans obstacle.....	307
K.4	Zone sans résonance.....	307
Annexe L (informative) Exactitude des valeurs de NSIL dans la plage de fréquences de 9 kHz à 30 MHz		309
L.1	Généralités	309
L.2	Vérification croisée du NEC avec des formules analytiques	309
L.3	Versions recommandées du NEC.....	310
L.4	Instabilités à l'extrémité inférieure de la plage de fréquences.....	311
L.5	Méthodes d'extrapolation pour résoudre les instabilités	311
L.6	Réduction du nombre de segments pour résoudre les instabilités	311
Annexe M (informative) Exemple de calcul pour les SAC de 10 m qui ne satisfont pas au critère de ± 4 dB dans la plage de fréquences de 9 kHz à 30 MHz		312
Annexe N (normative) Étalonnage de la somme des facteurs d'antenne du champ magnétique dans la plage de fréquences de 9 kHz à 30 MHz.....		315
N.1	Généralités	315
N.2	Procédure d'étalonnage	315
N.3	Incertitudes de mesure	316
Bibliographie.....		318
Figure 34 – Exemple d'antenne-cadre de taille adaptée		173
Figure 1 – Représentation schématique du rayonnement de l'EUT atteignant une antenne LPDA directement et via réflexion sur le sol à un emplacement de 3 m, présentant la moitié de l'angle d'ouverture de faisceau, φ , au niveau du rayon réfléchi		177
Figure 2 – Exemple de diagramme de rayonnement dans le plan E d'une antenne RX dans la zone limite grisée pour une distance de 3 m et un EUT d'une largeur de 2 m.....		182
Figure 3 – Détermination de la largeur maximale exploitable de l'EUT dans le cadre de l'utilisation de l'ouverture de faisceau à mi-puissance		183
Figure 4 – Détermination de la hauteur maximale exploitable de l'EUT dans le cadre de l'utilisation de l'ouverture de faisceau à mi-puissance		183
Figure 35 – Disposition générale des trois orientations de mesure H_x , H_y et H_z , où d est la distance de mesure et h est la hauteur du point de référence		186
Figure 36 – Positions d'antenne		187
Figure 37 – Positions d'antenne		188
Figure 38 – Montage d'essai pour V_{DIRECT} avec amplificateur de puissance et atténuateur		189
Figure 5 – Zone sans obstacle d'un emplacement d'essai équipé d'une table tournante		192
Figure 6 – Zone sans obstacle avec EUT fixe		193
Figure 7 – Position des points d'essai pour un essai à des distances de 3 m et de 10 m		202
Figure 8 – Position des points d'essai appariés pour toutes les distances d'essai		204
Figure 9 – Exemple de choix de points d'essai appariés pour un essai à une distance de 10 m		205
Figure 10 – Représentation d'une étude de l'influence du mât d'antenne sur A_{APR}		205

Figure 11 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation verticale.....	209
Figure 12 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation horizontale.....	210
Figure 13 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation verticale pour un EUT de faibles dimensions	211
Figure 14 – Positions types des antennes pour un OATS protégé contre les intempéries ou une SAC – mesures de validation en polarisation horizontale pour un EUT de faibles dimensions	212
Figure 15 – Positions de mesure pour la validation d'emplacement d'une FAR.....	215
Figure 16 – Exemple de position de mesure et d'inclinaison d'antenne pour la validation d'emplacement d'une FAR	217
Figure 17 – Montage de mesure du SA de référence type pour un emplacement d'essai en quasi espace libre	220
Figure 18 – NSA théorique en espace libre en fonction de la fréquence pour différentes distances de mesure [voir Equation (16)]	222
Figure 19 – Position de l'antenne par rapport au bord au-dessus d'une table d'essai rectangulaire (vue de dessus).....	225
Figure 20 – Position de l'antenne au-dessus de la table d'essai (vue de côté)	225
Figure 21 – Exemple de diagramme de rayonnement dans le plan E d'une antenne d'émission (à titre informatif uniquement).....	229
Figure 22 – Diagramme de rayonnement dans le plan H d'une antenne d'émission (exemple donné à titre informatif uniquement)	230
Figure 23 – Positions de mesure de S_{VSWR} dans un plan horizontal (voir description en 7.5.2).....	232
Figure 24 – Positions de S_{VSWR} (exigences de hauteur).....	234
Figure 25 – Exigences concernant la position conditionnelle des mesures de S_{VSWR}	240
Figure 26 – Définition des plans de référence à l'intérieur du montage d'essai	243
Figure 27 – Les quatre configurations pour l'étalonnage TRL	245
Figure 28 – Limites pour l'amplitude de S_{11} , mesurée selon les dispositions de 8.1 à 8.3	246
Figure 29 – Exemple de conception d'adaptateur 50 Ω dans le flasque vertical du montage	247
Figure 30 – Exemple d'adaptateur avec symétriseur ou transformateur.....	248
Figure 31 – Exemple d'adaptateur avec réseau d'adaptation résistif	248
Figure A.1 – Facteurs d'antenne des doublets courts pour $R_L = 50 \Omega$	253
Figure C.1 – LLAS constitué de trois antennes de grand diamètre mutuellement perpendiculaires	260
Figure C.2 – LLA comportant deux fentes opposées, positionnées symétriquement par rapport à la sonde de courant	261
Figure C.3 – Construction de la fente de LLA.....	261
Figure C.4 – Exemple de construction de fente de LLA utilisant une bande de circuit imprimé pour obtenir une construction rigide.....	262
Figure C.5 – Construction du boîtier métallique renfermant la sonde de courant	262
Figure C.6 – Exemple montrant le cheminement de plusieurs câbles de l'EUT afin de réduire le plus possible le couplage capacitif entre les conducteurs et le LLAS.....	263
Figure C.7 – Les huit positions du doublet de vérification du LLAS durant la validation d'une LLA	264

Figure C.8 – Facteurs de validation de référence pour des boucles de 2 m, 3 m et 4 m de diamètre	264
Figure C.9 – Construction de l'antenne doublet de vérification du LLAS	266
Figure C.10 – Sensibilité S_D d'une LLA de diamètre D par rapport à une LLA de 2 m de diamètre	267
Figure C.11 – Facteur de conversion C_{dA} [pour la conversion en dB ($\mu A/m$)] pour trois distances de mesure normalisées d	269
Figure D.1 – Critère de Rayleigh pour la rugosité du plan de sol	273
Figure J.1 – Étude du rayon du fil, normalisé à 0,001 m	298
Figure J.2 – Étude de la position du point d'alimentation (non à l'échelle)	299
Figure J.3 – Variation des valeurs de NSIL pour différents montages, à une distance de 3 m, $h = 1,3$ m	301
Figure J.4 – Spécification de la position du point d'alimentation pour les valeurs présentes dans les tableaux (non à l'échelle)	302
Figure J.5 – Exemples de calcul, diamètre du cadre de 60 cm, position des points d'alimentation selon la Figure J.4	304
Figure K.1 – Dimensions minimales recommandées du plan de sol (vue du dessus)	306
Figure K.2 – Zone sans obstacle recommandée (vue du dessus)	307
Figure L.1 – Comparaison des valeurs de NSIL obtenues par formules analytiques et simulation informatique	310
Figure M.1 – Exemple de résultat de validation de l'emplacement	313
Figure M.2 – U_{lab} calculée à partir du résultat de validation de l'emplacement	314
Figure M.3 – Facteur de correction dépendant de la fréquence	314
Figure N.1 – Disposition des antennes pour la méthode de somme des facteurs d'antenne	316
Tableau 9 – Pas de fréquence maximal	186
Tableau 10 – Critère d'acceptation	190
Tableau 1 – Méthodes de validation d'emplacement applicables pour les emplacements de type OATS, à base d'OATS, SAC et FAR	195
Tableau 2 – Affaiblissement normalisé théorique de l'emplacement, A_N – Géométries recommandées pour les antennes à large bande ^a (1 de 2)	198
Tableau 3 – Exemple de modèle pour les ensembles de données A_{APR}	201
Tableau 4 – Pas de fréquence de la RSM	201
Tableau 5 – Dimensions maximales du volume d'essai en fonction de la distance d'essai	213
Tableau 6 – Gammes de fréquences et pas pour la validation d'emplacement d'une FAR	218
Tableau 7 – Désignations des positions de mesure de S_{VSWR} (1 de 3)	235
Tableau 8 – Exigences concernant les rapports de S_{VSWR}	241
Tableau C.1 – Facteurs de validation de référence de la Figure C.8 pour des boucles de 2 m, 3 m et 4 m de diamètre	265
Tableau C.2 – Sensibilité S_D d'une LLA de diamètre D par rapport à une LLA de 2 m de diamètre (Figure C.10)	268
Tableau C.3 – Facteur de conversion de l'intensité du champ magnétique C_{dA} pour trois distances de mesure (Figure C.11)	270
Tableau D.1 – Rugosité maximale pour des distances de mesure de 3 m, 10 m et 30 m	273
Tableau F.1 – Bilan d'erreur	277

Tableau G.1 – Etalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide de la technique de moyennage sur un OATS de grandes dimensions	279
Tableau G.2 – Etalonnage de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes à l'aide du REFTS	280
Tableau G.3 – Validation du COMTS à l'aide de l'affaiblissement de site de référence avec une paire d'antennes	281
Tableau H.1 – Exemple d'estimation de l'incertitude pour le mesurage de la XPR dans une FAR avec des valeurs $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB définies par hypothèse.....	286
Tableau H.2 – Incertitudes dépendant des autres valeurs de A_{xpT} (autres hypothèses que celles retenues dans le Tableau H.1)	288
Tableau H.3 – Exemple d'estimation de l'incertitude pour un mesurage de la XPR sur un OATS avec des valeurs $a_{xpT} = 22$ dB, $a_{xpR} = 34$ dB définies par hypothèse	288
Tableau I.1 – Exemple de bilan d'incertitude de mesure pour la validation du COMTS à l'aide de la méthode NSIL	289
Tableau I.2 – Exemple de bilan d'incertitude de mesure pour la validation du COMTS à l'aide de la méthode RSM	292
Tableau J.1 – Exemples de calcul (diamètre du cadre de 60 cm, $d = 3$ m, $h = 1,3$ m)	304
Tableau J.2 – Exemples de calcul (diamètre du cadre de 60 cm, $d = 5$ m, $h = 1,3$ m)	304
Tableau J.3 – Exemples de calcul (diamètre du cadre de 60 cm, $d = 10$ m, $h = 1,3$ m)	305
Tableau K.1 – Épaisseur de peau pour certains matériaux pratiques à 9 kHz.....	307
Tableau L.1 – Mises en œuvre recommandées du NEC	310
Tableau L.2 – Instabilités observées	311
Tableau M.1 – Incertitude de mesure des résultats des perturbations rayonnées de 9 kHz à 30 MHz	312
Tableau M.2 – Influence de δA_i sur U_{lab}	312
Tableau N.1 – Exemple de bilan d'incertitude pour la méthode de somme des facteurs d'antenne.....	316

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

COMITÉ INTERNATIONAL SPÉCIAL DES PERTURBATIONS RADIOÉLECTRIQUES

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

Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées

AVANT-PROPOS

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

Cette version consolidée de la Norme IEC officielle et de son amendement a été préparée pour la commodité de l'utilisateur.

La CISPR 16-1-4 édition 4.2 contient la quatrième édition (2019-01) [documents CIS/A/1262/FDIS et CIS/A/1275/RVD], son amendement 1 (2020-06) [documents

CIS/A/1316/FDIS et CIS/A/1320/RVD] et son amendement 2 (2023-04) [documents CIS/A/1389/FDIS et CIS/A/1393/RVD].

Cette version Finale ne montre pas les modifications apportées au contenu technique par les amendements 1 et 2. Une version Redline montrant toutes les modifications est disponible dans cette publication.

Cette édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente:

- des dispositions ont été ajoutées pour traiter la validation des emplacements d'essai dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz en utilisant la méthode de site de référence, pour tenir compte du diagramme de rayonnement de l'antenne de réception dans la gamme de fréquences de 1 GHz à 18 GHz, ainsi qu'une description plus détaillée de la validation des emplacements d'essai par la méthode du NSA avec des antennes à large bande dans la plage de fréquences de 30 MHz à 1 000 MHz.

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

Elle a le statut d'une publication fondamentale en CEM conformément au Guide IEC 107, *Compatibilité électromagnétique – Guide pour la rédaction des publications sur la compatibilité électromagnétique*.

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

Une liste de toutes les parties de la série CISPR 16, publiées sous le titre général *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques*, peut être consultée sur le site web de l'IEC.

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

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

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

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

Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées

1 Domaine d'application

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

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

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

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

2 Références normatives

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

CISPR 16-1-1:2019, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Appareils de mesure*

CISPR 16-1-5:2014, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-5: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Emplacements d'étalonnage d'antenne et emplacements d'essai de référence pour la plage comprise entre 5 MHz et 18 GHz*
CISPR 16-1-5:2014/AMD1:2016

CISPR 16-1-6:2014, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-6: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Etalonnage des antennes CEM*
CISPR 16-1-6:2014/AMD1:2017
CISPR 16-1-6:2014/AMD2:2022

CISPR 16-2-3:2016, 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 – Mesurages des perturbations rayonnées

CISPR 16-2-3:2016/AMD1:2019

CISPR 16-2-3:2016/AMD2:20—

CISPR TR 16-3, Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 3: Rapports techniques du CISPR

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

IEC 60050-161, Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique

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

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