

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



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

BASIC EMC PUBLICATION
PUBLICATION FONDAMENTALE EN CEM

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

**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 – Étalonnage des antennes CEM**

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE **XH**
CODE PRIX

ICS 33.100.10; 33.100.20

ISBN 978-2-8322-1931-7

**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.**

CONTENTS

FOREWORD.....	10
1 Scope.....	12
2 Normative references	12
3 Terms, definitions and abbreviations	13
3.1 Terms and definitions.....	13
3.1.1 Antenna terms	13
3.1.2 Antenna factor terms	16
3.1.3 Measurement site terms	17
3.1.4 Other terms	18
3.2 Abbreviations.....	19
4 Fundamental concepts.....	20
4.1 General.....	20
4.2 The concept of antenna factor.....	20
4.3 Calibration methods for 30 MHz and above.....	21
4.3.1 General	21
4.3.2 Antenna minimum separation distances	21
4.3.3 General considerations for the TAM.....	21
4.3.4 General considerations for the SSM.....	21
4.3.5 General considerations for the SAM.....	22
4.4 Measurement uncertainties for antenna calibration measurement results	22
4.5 Summary of methods of measurement to obtain AF	23
5 Calibration methods for the frequency range 9 kHz to 30 MHz.....	25
5.1 Calibration of monopole antennas.....	25
5.1.1 General	25
5.1.2 Calibration by the ECSM.....	26
5.2 Calibration of loop antennas	32
5.2.1 General	32
5.2.2 TEM (Crawford) cell method	32
6 Frequencies, equipment and functional checks for calibrations at or above 30 MHz.....	35
6.1 Calibration frequencies	35
6.1.1 Calibration frequency ranges and increments	35
6.1.2 Transition frequency for hybrid antennas	36
6.2 Measurement instrumentation requirements for antenna calibrations	37
6.2.1 Equipment types.....	37
6.2.2 Mismatch.....	38
6.2.3 Dynamic range and reproducibility of SIL measurement.....	40
6.2.4 Signal-to-noise ratio	40
6.2.5 Antenna masts and cables.....	41
6.3 Functional checks of an AUC	41
6.3.1 General	41
6.3.2 Balance of an antenna.....	41
6.3.3 Cross-polar performance of an antenna.....	41
6.3.4 Radiation patterns of an antenna	42
7 Basic parameters and equations common to antenna calibration methods for frequencies above 30 MHz	43
7.1 Summary of methods for measurements to obtain AF	43

7.2	Site insertion loss measurements.....	43
7.2.1	General	43
7.2.2	SIL and SA measurement procedure.....	43
7.2.3	Common uncertainty components of a SIL measurement.....	44
7.3	Basic equations for the calculation of AF from SIL and SA measurements	46
7.3.1	Antenna factor from SIL measurements	46
7.3.2	Relationship of AF and SIL for a free-space calibration site	46
7.3.3	Relationship of AF and SIL for a calibration site with a metal ground plane	47
7.4	Equations for AF and measurement uncertainties using the TAM, SSM, and SAM.....	48
7.4.1	TAM	48
7.4.2	SSM	53
7.4.3	SAM	55
7.5	Parameters for specifying antenna phase centre and position	57
7.5.1	General	57
7.5.2	Reference position and phase centres of LPDA and hybrid antennas.....	58
7.5.3	Phase centres of horn antennas	61
8	Details for TAM, SAM, and SSM calibration methods for frequencies of 30 MHz and above	63
8.1	General.....	63
8.2	Considerations for F_a calibrations using TAM	63
8.2.1	General considerations	63
8.2.2	Calibration site and antenna set-up considerations for use with the TAM.....	63
8.2.3	Antenna parameters for a free-space environment or a ground plane site	65
8.2.4	Validation of calibration method.....	66
8.3	Considerations for F_a calibrations using the SAM	66
8.3.1	General considerations and calibration site for use of the SAM.....	66
8.3.2	Calibration procedures and antenna set-ups for F_a by the SAM.....	67
8.3.3	Parameters of the STA	67
8.4	SSM calibrations at a ground-plane site, 30 MHz to 1 GHz	68
8.4.1	General considerations and calibration site for SSM	68
8.4.2	Calibration procedure for SSM.....	69
8.4.3	Calculation of F_a	69
8.4.4	Uncertainties of F_a obtained using SSM	70
9	Calibration procedures for specific antenna types for frequencies of 30 MHz and above	71
9.1	General.....	71
9.2	Calibrations for biconical and hybrid antennas in a free-space environment for 30 MHz to 300 MHz, and tuned dipoles for 60 MHz to 1 000 MHz	71
9.2.1	General considerations and calibration site requirements	71
9.2.2	Calibration procedure and antenna set-up for use with the SAM	71
9.2.3	Uncertainties of F_a determined by the SAM	72
9.2.4	Antenna set-up for use with the TAM (alternative)	74
9.3	Calibration of biconical (30 MHz to 300 MHz) and hybrid antennas, using the SAM and VP at a ground plane site.....	74
9.3.1	General considerations and calibration site requirements	74
9.3.2	Calibration procedure and antenna set-up	75
9.3.3	Uncertainties of F_a determined with the SAM.....	76

9.4	Calibration of LPDA, hybrid, and horn antennas in a free-space environment, 200 MHz to 18 GHz.....	77
9.4.1	General considerations and calibration site for a free-space environment.....	77
9.4.2	Calibrations using the TAM.....	79
9.4.3	Antenna set-up for use with the SAM.....	80
9.4.4	Alternative antenna set-up for site with absorber on the ground.....	80
9.5	Calibration of horn and LPDA antennas in a FAR, 1 GHz to 18 GHz.....	81
9.5.1	Calibration using the TAM.....	81
9.5.2	Calibration and antenna set-up for the SAM.....	84
Annex A (informative) Background information and rationale for the methods of antenna calibration.....		85
A.1	Rationale for the need for several calibration methods and for use of a ground plane site.....	85
A.2	Special measures for calibration of omnidirectional antennas.....	86
A.2.1	General.....	86
A.2.2	Difficulties with calibration of omnidirectional antennas.....	87
A.2.3	Minimizing reflections from antenna supports and radiation from cables.....	87
A.2.4	Field taper and monocone set-up for VP biconical calibration.....	88
A.2.5	Use of HP or VP in a FAR.....	89
A.2.6	Substitution where the STA is the same model as the AUC.....	89
A.3	Calibrations using broadband calculable dipole antennas.....	89
A.3.1	Disadvantages of tuned dipole antennas.....	89
A.3.2	Advantages of broadband calculable dipole antennas.....	90
A.3.3	Disadvantages of calculable dipole antennas.....	90
A.4	Rationale for F_a and biconical/LPDA antenna cross-over frequency.....	90
A.4.1	Rationale for F_a	90
A.4.2	Cross-over frequency from biconical to LPDA antennas.....	91
A.4.3	Biconical element designs.....	91
A.5	Sources of increased uncertainty in measurement of F_a by the SSM.....	92
A.6	Calibration of LPDA antennas using smaller separation distances.....	94
A.6.1	Calibration of LPDA antennas using smaller separation distances.....	94
A.6.2	Correction of electric field strength to account for phase centre of LPDA antennas.....	95
A.7	Cross-polar discrimination of LPDA antennas.....	96
A.8	Tips for measurement instrumentation.....	97
A.8.1	Signal-to-noise ratio.....	97
A.8.2	Connector pin depth.....	99
A.8.3	Effect of added adaptor in a “cable-through” measurement.....	99
A.8.4	Compression level.....	100
A.8.5	Source power slope function above 6 GHz.....	100
A.8.6	Frequency increment for detection of resonances.....	100
A.8.7	Return loss or VSWR.....	100
A.9	Uncertainty considerations.....	101
A.9.1	General.....	101
A.9.2	Achievable uncertainties for F_a	101
A.9.3	Uncertainties of dipoles above a ground plane.....	101
A.9.4	Verification of uncertainty by comparison of methods.....	102
Annex B (normative) Calibration of biconical antennas and tuned dipole antennas above a ground plane using the TAM and the SAM.....		103

B.1	General.....	103
B.2	Characteristics of biconical antennas and dipole antennas.....	103
B.3	Frequencies	103
B.4	Measurement of $F_a(h,p)$ of biconical and tuned dipole antennas and derivation of F_a by averaging $F_a(h,p)$, 30 MHz to 300 MHz	104
B.4.1	General	104
B.4.2	Measurement of $F_a(h,H)$ by the SAM and derivation of F_a	104
B.4.3	Measurement of $F_a(h,H)$ by the TAM and derivation of F_a	107
B.5	Measurement of F_a of tuned dipoles placed high above a ground plane in the frequency range 30 MHz to 1 000 MHz.....	109
B.5.1	General	109
B.5.2	Measurement of F_a by the SAM.....	109
B.5.3	Measurement of F_a by the TAM.....	111
Annex C (informative) Rationale for the equations used in antenna calibration and relevant information about antenna characteristics for uncertainty analysis in the frequency range 30 MHz to 1 GHz		113
C.1	General.....	113
C.2	Antenna factor and antenna gain	113
C.2.1	Relationship between AF and gain for antennas in a free-space environment.....	113
C.2.2	Relationship between AF and gain for monopole antennas on a large ground plane	115
C.3	Equations for the insertion loss between antennas.....	115
C.3.1	Site insertion loss measured at a free-space calibration site	115
C.3.2	Site insertion loss measured at a metal ground plane site.....	117
C.3.3	Site attenuation measured at a metal ground plane site.....	119
C.4	Uncertainty contribution caused by near-field effects	120
C.5	Uncertainty contribution due to the antenna proximity coupling	121
C.6	Uncertainty contribution due to the ground plane reflection	123
C.6.1	Coupling to image in ground plane.....	123
C.6.2	Correction factors $\Delta F_{a,SSM}$ for F_a of biconical antenna	127
C.7	Uncertainty contribution due to the antenna radiation pattern.....	128
C.7.1	General	128
C.7.2	Biconical antennas	129
C.7.3	LPDA antennas.....	129
C.7.4	Hybrid antennas	130
C.7.5	Horn and LPDA antennas from 1 GHz to 18 GHz.....	131
Annex D (informative) Background information and rationale for calibration of antennas at frequencies above 1 GHz.....		134
D.1	Mismatch uncertainty	134
D.2	Mutual coupling between antennas and chamber reflection.....	134
D.3	Antenna separation distance and phase centre	134
D.4	Example gain of DRH at 1 m distance	136
Annex E (informative) Notes for measurement uncertainty budgets.....		138
E.1	General.....	138
E.2	Notes for measurement uncertainty budgets	138
Annex F (informative) Mismatch uncertainties from a two-port device connected between a transmit port and a receive port		147
Annex G (informative) Verification method for calibration of monopole antennas and uncertainty analysis of the ECSM.....		149

G.1	Verification method for calibration of monopole antennas by the plane wave method from 5 MHz to 30 MHz.....	149
G.1.1	Calibration procedure	149
G.1.2	Uncertainty evaluation for the calibration of monopole antennas by the plane wave method.....	150
G.2	Uncertainty analysis of the ECSM.....	150
G.2.1	Effect of rod length longer than $\lambda/8$	150
G.2.2	Effect on AF of monopole antenna mounted on a tripod.....	152
G.2.3	Monopole antenna receiving an electric field	153
G.2.4	Equivalent capacitance substitution method (ECSM)	153
G.2.5	Uncertainties associated with the ECSM.....	155
G.2.6	An alternative to the dummy antenna, for which $F_{ac} = V_D - V_L$	157
Annex H (informative)	Helmholtz coil method for calibration of loop antennas up to 150 kHz	158
H.1	Measurement procedure	158
H.2	Uncertainties.....	160
Bibliography	162
Figure 1	– Set-up for AF determination using a network analyzer.....	29
Figure 2	– Set-up for AF determination using a measuring receiver and signal generator.....	29
Figure 3	– Example of mounting a capacitor in the dummy antenna	30
Figure 4	– Block diagram of TEM cell set-up for passive loop antennas	34
Figure 5	– Block diagram of TEM cell set-up for active loop antennas.....	34
Figure 6	– Example of resonant spike due to poor biconical element connections, using 2 MHz increment.....	36
Figure 7	– Antenna set-up for SIL measurement at a free-space calibration site	44
Figure 8	– Antenna set-up for SIL and SA measurement at a ground-plane calibration site ..	44
Figure 9	– Antenna set-up for the TAM at a free-space calibration site	49
Figure 10	– Antenna set-up for the TAM at a calibration site with a metal ground plane	52
Figure 11	– Antenna set-up for the SSM	54
Figure 12	– Antenna set-up for the SAM at a calibration site with a metal ground plane.....	56
Figure 13	– Separation distance relative to the phase centre of an LPDA antenna	59
Figure 14	– LPDA antenna with a tapered curved geometry	61
Figure 15	– Separation distance with respect to the phase centre of horn antennas (see [49] for details).....	62
Figure 16	– Schematic of a DRH showing relative locations of field point and phase centre of the DRH.....	63
Figure 17	– Biconical antenna set-up for SAM using vertical polarization, showing the paired monocone antenna and an example collapsible-element biconical AUC	76
Figure 18	– Test set-up for the calibration of LPDA and hybrid antennas positioned at a large height.....	79
Figure 19	– Set-up for LPDA antennas above absorber.....	81
Figure 20	– Set-up for transmission measurements using a network analyzer	82
Figure A.1	– Illustration of the angles of the electromagnetic rays subtended from the scanned LPDA antenna to the fixed height LPDA antenna and to the ground plane	93
Figure A.2	– F_a of biconical antenna with 200 Ω balun measured by the VP method of 9.3, and by the SSM method of 8.4 without correction.....	94

Figure A.3 – F_a of biconical antenna with 200 Ω balun measured by the VP method of 9.3, and by the SSM method of 8.4 with correction	94
Figure A.4 – Separation distance relative to the phase centre of an LPDA antenna.....	96
Figure A.5 – Statistical properties of multiple S_{21} sweeps (minimum, maximum, and mean value).....	98
Figure A.6 – Standard deviation of S_{21}	98
Figure A.7 – Normalized standard deviation of S_{21}	99
Figure C.1 – Simplified model of a receive antenna	114
Figure C.2 – Insertion loss measurement for antenna calibration at a free-space calibration site	116
Figure C.3 – Insertion loss measurement for antenna calibration at a calibration site with a metal ground plane.....	118
Figure C.4 – Comparison of field strength given by Equation (C.17) versus in near-field region given by Equation (C.31).....	121
Figure C.5 – Theoretical calculations of proximity coupling effects on the AF from the TAM (free-space conditions)	123
Figure C.6 – Deviation of AF from free-space value, F_a , caused by mutual coupling to the image in a metal ground plane (theoretical results)	124
Figure C.7 – Variation of $F_a(h,H)$ of biconical antenna with 50 Ω balun, 30 MHz to 320 MHz at heights every 0,5 m above a ground plane from 1 m to 4 m.....	125
Figure C.8 – AF of Figure C.7 normalized to free-space AF	125
Figure C.9 – Variation of $F_a(h,H)$ of biconical antenna with 200 Ω balun, 30 MHz to 320 MHz at heights every 0,5 m above a ground plane from 1 m to 4 m.....	126
Figure C.10 – Diagram of one triangular section of a biconical antenna element.....	128
Figure C.11 – Examples of radiation patterns (relative realized gain) of two example biconical antennas compared to ideal half-wave tuned dipole antenna.....	129
Figure C.12 – Examples of radiation patterns (relative realized gain) of three example LPDA antennas, compared to ideal half-wave tuned dipole antenna.....	130
Figure C.13 – Examples of radiation patterns (relative realized gain) of an example hybrid antenna, compared to ideal half-wave tuned dipole antenna.....	131
Figure C.14 – Example radiation patterns for classical DRH antenna	132
Figure C.15 – Example radiation patterns for novel DRH antenna	132
Figure C.16 – Example radiation patterns for classical LPDA antenna	133
Figure C.17 – Example radiation patterns for V-type LPDA antenna.....	133
Figure D.1 – Relative phase centres of a DRH antenna and an LPDA antenna	135
Figure D.2 – A transmission system between a horn antenna and an LPDA antenna	136
Figure D.3 – Measured AFs of a DRH antenna at 4,5 GHz.....	136
Figure D.4 – Graph showing the realized gain at 1 m for a DRH antenna	137
Figure E.1 – Comparison of measured and predicted SIL for calculable dipole antenna – 60 MHz element.....	141
Figure E.2 – Comparison of measured and predicted SIL for calculable dipole antenna – 180 MHz element.....	141
Figure E.3 – Reflectivity of chamber absorbing materials	145
Figure E.4 – Laser alignment system	146
Figure F.1 – Flow graph representation of a two-port device between a transmit port and a receiver port.....	147
Figure F.2 – Signal flow reduction.....	147

Figure G.1 – Diagram showing how the brass rod connects to the type N male bulkhead connector..... 150

Figure G.2 – Graph of the magnitude of the tan(...) ratio term in Equation (4) of 5.1.2.2 151

Figure G.3 – Graphical presentation of Equation (4) of 5.1.2.2 self-capacitance C_a of a 1 m monopole 151

Figure G.4 – Graphical presentation of Equation (5) of 5.1.2.2 height correction factor L_h . 152

Figure G.5 – Calibration set-up consisting of a biconical and a loop antenna, and an elevated monopole antenna with vertical feed wires..... 153

Figure G.6 – Equivalent circuit representation for a monopole antenna system 153

Figure G.7 – Monopole antenna calibration using the ECSM..... 154

Figure G.8 – Equivalent circuit representation for the ECSM 154

Figure G.9 – Simplified circuit representation for Figure G.8 155

Figure G.10 – Circuit for dummy antenna simulating the effects of the antenna effective height, h_e 157

Figure H.1 – Diagram of Helmholtz coil method set-up..... 158

Figure H.2 – Variation of H/I across the central plane between the coils 160

Table 1 – Summary of calibration methods above 30 MHz for F_a 24

Table 2 – Calibration methods above 30 MHz by subclause number 25

Table 3 – Frequency increments for monopole antenna calibration 26

Table 4 – Example measurement uncertainty budget for F_{ac} of a monopole antenna calibrated by the ECSM using Equation (9) 32

Table 5 –Example measurement uncertainty budget for F_{aH} of a loop antenna measured in a TEM cell 35

Table 6 – Frequency increments for broadband antenna calibration..... 35

Table 7 – Example measurement uncertainty budget for common components of a SIL measurement result evaluated from Equation (20) 46

Table 8 – Parameters used to determine phase centres of segments A and B..... 61

Table 9 – Example measurement uncertainty budget for F_a of a horizontally-polarized biconical antenna measured by the SSM..... 70

Table 10 – Example measurement uncertainty budget for F_a of a biconical antenna measured by the SAM in a FAR over the frequency range 30 MHz to 300 MHz 73

Table 11 – Example measurement uncertainty budget for F_a of a tuned dipole antenna obtained by the SAM in a FAR at a free-space calibration site, using a calculable tuned dipole as the STA in the frequency range above 60 MHz 74

Table 12 – Example measurement uncertainty budget for F_a of a biconical antenna measured using the SAM for vertical polarization over the frequency range 30 MHz to 300 MHz 77

Table 13 – Example measurement uncertainty budget for F_a of LPDA and hybrid antennas measured by the TAM at 4 m height for the frequency range 200 MHz to 3 GHz 80

Table 14 – Example measurement uncertainty budget for F_a of a horn antenna measured by the TAM above 1 GHz for 3 m separation in free space..... 84

Table A.1 – Example type N male and female connector pin depths and tolerances using a type N pin-depth gauge 99

Table A.2 – Typical type N adaptor characteristics..... 100

Table B.1 – Antenna set-up for the SAM for tuned dipole antennas with averaging of $F_a(h,H)$ 104

Table B.2 – Antenna set-up for the SAM for biconical antennas with averaging of $F_a(h,H)$	105
Table B.3 – Example measurement uncertainty budget for $F_a(h,H)$ of a biconical antenna measured by the SAM over the frequency range 30 MHz to 300 MHz	105
Table B.4 – Example measurement uncertainty budget for F_a of a biconical antenna obtained by the SAM with averaging of $F_a(h,H)$ in the frequency range below 300 MHz	107
Table B.5 – Example measurement uncertainty budget for $F_a(h,H)$ of a biconical antenna obtained by the TAM with the antenna set-up specified in Table B.2.....	108
Table B.6 – Example measurement uncertainty budget for F_a of a biconical antenna obtained by the TAM with averaging of $F_a(h,H)$ in the frequency range below 300 MHz	108
Table B.7 – Antenna set-ups for the SAM for determining F_a of tuned dipole antennas at specific frequencies in the range 30 MHz to 1 000 MHz	110
Table B.8 – Example measurement uncertainty budget for F_a of a tuned dipole antenna obtained by the SAM using the antenna set-ups specified in Table B.7	111
Table B.9 – Example measurement uncertainty budget for F_a of a tuned dipole antenna obtained by the TAM using the antenna set-ups specified in Table B.7	112
Table C.1 – Examples of the antenna height range h for horizontal polarization for an error $\leq 0,3$ dB	126
Table C.2 – Correction factors $\Delta F_{a,SSM}$ to convert AF measured by SSM to F_a	127
Table C.3 – Mechanical dimensions for the biconical antenna [52].....	128
Table G.1 – Example measurement uncertainty budget for F_a of a monopole antenna measured by the SAM.....	150
Table H.1 – Example measurement uncertainty budget for F_{aH} of a loop antenna measured by the Helmholtz coil method for the frequency range 50 kHz to 150 kHz	161

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION
INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

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

**Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus –
EMC antenna calibration**

FOREWORD

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

International Standard CISPR 16-1-6 has been prepared by CISPR subcommittee A: Radio-interference measurements and statistical methods.

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

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

FDIS	Report on voting
CISPR/A/1087/FDIS	CISPR/A/1098/RVD

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

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

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

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

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

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

SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY MEASURING APPARATUS AND METHODS –

Part 1-6: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – EMC antenna calibration

1 Scope

This part of CISPR 16 provides procedures and supporting information for the calibration of antennas for determining antenna factors (AF) that are applicable to antennas intended for use in radiated disturbance measurements.

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

The AF of an antenna is influenced by nearby surroundings and by its position in space relative to the radiating source. This standard focuses on antenna calibrations that provide the AF in a free-space environment in the direction of the boresight of the antenna. The frequency range addressed is 9 kHz to 18 GHz. The relevant antenna types covered in this standard are monopole, loop, dipole, biconical, log-periodic dipole-array (LPDA), hybrid and horn antennas.

Guidance is also provided on measurement uncertainties associated with each calibration method and configuration, and the test instrumentation used.

2 Normative references

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

CISPR 16-1-4:2010, *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*

CISPR 16-1-4:2010/AMD 1:2012

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*

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

ISO/IEC Guide 98-3:2008, *Uncertainty of measurement – Part 3: Guide to the expression of uncertainty in measurement (GUM:1995)*

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	177
1 Domaine d'application	179
2 Références normatives	179
3 Termes, définitions et abréviations	180
3.1 Termes et définitions	180
3.1.1 Termes relatifs aux antennes.....	180
3.1.2 Termes relatifs au facteur d'antenne.....	183
3.1.3 Termes relatifs à l'emplacement de mesure.....	184
3.1.4 Autres termes.....	186
3.2 Abréviations.....	187
4 Concepts fondamentaux	187
4.1 Généralités	187
4.2 Concept de facteur d'antenne	188
4.3 Méthodes d'étalonnage pour des fréquences de 30 MHz et plus	189
4.3.1 Généralités.....	189
4.3.2 Distances de séparation minimales des antennes.....	189
4.3.3 Considérations générales pour la méthode TAM.....	189
4.3.4 Considérations générales pour la méthode SSM.....	189
4.3.5 Considérations générales pour la méthode SAM.....	190
4.4 Incertitudes de mesure pour les résultats des mesurages d'étalonnage des antennes.....	190
4.5 Synthèse des méthodes de mesure permettant d'obtenir l'AF.....	191
5 Méthodes d'étalonnage pour la gamme de fréquences comprise entre 9 kHz et 30 MHz.....	194
5.1 Étalonnage des antennes monopôles.....	194
5.1.1 Généralités.....	194
5.1.2 Étalonnage par la méthode ECSM.....	195
5.2 Étalonnage des antennes boucles.....	201
5.2.1 Généralités.....	201
5.2.2 Méthode des cellules TEM (Crawford).....	202
6 Fréquences, matériel et vérifications de fonctionnement pour des étalonnages à des fréquences supérieures ou égales à 30 MHz.....	206
6.1 Fréquences d'étalonnage.....	206
6.1.1 Gammes et pas de fréquences d'étalonnage.....	206
6.1.2 Fréquence de transition pour les antennes hybrides.....	207
6.2 Exigences concernant les instruments de mesure pour les étalonnages d'antennes.....	208
6.2.1 Types de matériel.....	208
6.2.2 Désadaptation.....	209
6.2.3 Dynamique et reproductibilité de mesurage de SIL.....	211
6.2.4 Rapport signal/bruit.....	211
6.2.5 Mâts et câbles d'antennes.....	212
6.3 Vérifications de fonctionnement d'une AUC.....	212
6.3.1 Généralités.....	212
6.3.2 Équilibre d'une antenne.....	213
6.3.3 Caractéristique de polarisation croisée d'une antenne.....	213

6.3.4	Diagrammes de rayonnement d'une antenne	214
7	Paramètres et équations de base communs aux méthodes d'étalonnage d'antennes pour des fréquences au-delà de 30 MHz.....	214
7.1	Synthèse des méthodes de mesure permettant d'obtenir l'AF.....	214
7.2	Mesurages de la perte d'insertion de l'emplacement	215
7.2.1	Généralités.....	215
7.2.2	Méthode de mesure de SIL et de SA.....	215
7.2.3	Composantes d'incertitude communes d'un mesurage de SIL	217
7.3	Équations de base pour le calcul de l'AF à partir des mesurages de SIL et de SA.....	218
7.3.1	Facteur d'antenne issu des mesurages de SIL.....	218
7.3.2	Relation entre AF et SIL pour un emplacement d'étalonnage en espace libre	219
7.3.3	Relation entre AF et SIL pour un emplacement d'étalonnage avec un plan de masse de référence métallique.....	219
7.4	Équations pour le facteur AF et les incertitudes de mesure avec les méthodes TAM, SSM et SAM	221
7.4.1	Méthode TAM	221
7.4.2	SSM	226
7.4.3	Méthode SAM.....	229
7.5	Paramètres de spécification du centre de phase et de la position des antennes.....	231
7.5.1	Généralités.....	231
7.5.2	Position de référence et centres de phase des antennes LPDA et hybrides	232
7.5.3	Centres de phase des antennes cornets	235
8	Détails pour les méthodes d'étalonnage TAM, SAM et SSM pour des fréquences de 30 MHz et plus.....	237
8.1	Généralités	237
8.2	Considérations concernant les étalonnages F_a à l'aide de la méthode TAM.....	237
8.2.1	Considérations générales	237
8.2.2	Considérations concernant l'emplacement d'étalonnage et le montage d'antennes pour une utilisation avec la méthode TAM.....	238
8.2.3	Paramètres d'antennes pour un environnement en espace libre ou un emplacement sur plan de masse de référence	239
8.2.4	Validation de la méthode d'étalonnage	240
8.3	Considérations concernant les étalonnages F_a à l'aide de la méthode SAM.....	241
8.3.1	Considérations générales et emplacement d'étalonnage pour une utilisation de la méthode SAM	241
8.3.2	Méthodes d'étalonnage et montages d'antennes pour le facteur F_a par la méthode SAM	242
8.3.3	Paramètres de la STA.....	243
8.4	Étalonnages SSM avec un emplacement sur plan de masse de référence, à des fréquences comprises entre 30 MHz et 1 GHz	244
8.4.1	Considérations générales et emplacement d'étalonnage pour la méthode SSM.....	244
8.4.2	Méthode d'étalonnage pour la SSM	244
8.4.3	Calcul de F_a	245
8.4.4	Incertitudes du facteur F_a obtenu avec la méthode SSM.....	245
9	Méthodes d'étalonnage pour des types d'antenne spécifiques pour des fréquences de 30 MHz et plus.....	246
9.1	Généralités	246

9.2	Étalonnages des antennes biconiques et hybrides dans un environnement en espace libre pour des fréquences comprises entre 30 MHz et 300 MHz et des doublets accordés pour des fréquences comprises entre 60 MHz et 1 000 MHz	246
9.2.1	Considérations générales et exigences concernant l'emplacement d'étalonnage	246
9.2.2	Méthode d'étalonnage et montage d'antennes pour une utilisation avec la méthode SAM	247
9.2.3	Incertitudes de F_a déterminées par la méthode SAM	248
9.2.4	Montage d'antennes à utiliser avec la méthode TAM (variante).....	250
9.3	Étalonnage des antennes biconiques (30 MHz à 300 MHz) et hybrides, à l'aide des méthodes SAM et VP avec un emplacement sur plan de masse de référence	251
9.3.1	Considérations générales et exigences concernant l'emplacement d'étalonnage	251
9.3.2	Méthode d'étalonnage et montage d'antennes	251
9.3.3	Incertitudes de F_a déterminées par la méthode SAM	252
9.4	Étalonnage des antennes LPDA, hybrides et cornets dans un environnement en espace libre, pour des fréquences comprises entre 200 MHz et 18 GHz	254
9.4.1	Considérations générales et emplacement d'étalonnage pour un environnement en espace libre	254
9.4.2	Étalonnages utilisant la méthode TAM	255
9.4.3	Montage d'antennes à utiliser avec la méthode SAM	257
9.4.4	Autre montage d'antennes pour un emplacement comportant un matériau absorbant sur le sol.....	257
9.5	Étalonnage des antennes cornets et LPDA dans une FAR, pour des fréquences comprises entre 1 GHz et 18 GHz.....	258
9.5.1	Étalonnage utilisant la méthode TAM.....	258
9.5.2	Étalonnage et montage d'antennes pour la méthode SAM	261
Annexe A (informative) Historique et justifications des méthodes d'étalonnage des antennes.....		262
A.1	Justifications de la nécessité de plusieurs méthodes d'étalonnage et de l'utilisation d'un emplacement sur plan de masse de référence	262
A.2	Mesures spéciales propres à l'étalonnage des antennes omnidirectionnelles	264
A.2.1	Généralités	264
A.2.2	Difficultés d'étalonnage des antennes omnidirectionnelles.....	264
A.2.3	Réduction au minimum des réflexions des supports d'antennes et du rayonnement des câbles	264
A.2.4	Conicité de champ et montage d'antennes monocônes pour l'étalonnage des antennes biconiques à polarisation verticale.....	265
A.2.5	Utilisation de la HP ou de la VP dans une FAR	266
A.2.6	Situation de remplacement où les modèles de STA et d'AUC sont identiques.....	267
A.3	Étalonnages avec des antennes doublets calculables à large bande	267
A.3.1	Inconvénients des antennes doublets accordées	267
A.3.2	Avantages des antennes doublets calculables à large bande	268
A.3.3	Inconvénients des antennes doublets calculables	268
A.4	Justifications pour le facteur F_a et fréquence de transition entre les antennes biconiques et LPDA	268
A.4.1	Justifications pour le facteur F_a	268
A.4.2	Fréquence de transition entre les antennes biconiques et les antennes LPDA.....	269
A.4.3	Types d'éléments biconiques	269

A.5	Sources d'incertitude de mesure plus grande du facteur F_a avec la méthode SSM.....	270
A.6	Étalonnage des antennes LPDA en utilisant des distances de séparation réduites	273
A.6.1	Étalonnage des antennes LPDA en utilisant des distances de séparation réduites	273
A.6.2	Correction de l'intensité de champ électrique afin de tenir compte du centre de phase des antennes LPDA	274
A.7	Discrimination de polarisation croisée des antennes LPDA	275
A.8	Conseils pratiques pour l'instrumentation de mesure.....	276
A.8.1	Rapport signal/bruit	276
A.8.2	Profondeur des broches de connecteurs	279
A.8.3	Influence de l'adaptateur ajouté dans un mesurage "sur câbles traversants"	279
A.8.4	Niveau de compression	279
A.8.5	Fonction de pente de la puissance source au-delà d'une fréquence de 6 GHz	280
A.8.6	Pas de fréquence pour la détection des résonances	280
A.8.7	Affaiblissement de réflexion ou ROS.....	280
A.9	Considérations relatives à l'incertitude	281
A.9.1	Généralités	281
A.9.2	Incertaines réalisables pour le facteur F_a	281
A.9.3	Incertaines des doublets au-dessus d'un plan de masse de référence	281
A.9.4	Vérification de l'incertitude par comparaison des méthodes	282
Annexe B (normative) Étalonnage des antennes biconiques et des antennes doublets accordées au-dessus d'un plan de masse de référence en utilisant les méthodes TAM et SAM.....		283
B.1	Généralités	283
B.2	Caractéristiques des antennes biconiques et des antennes doublets	283
B.3	Fréquences.....	284
B.4	Mesurage du facteur $F_a(h,p)$ des antennes biconiques et doublets accordées et déduction de F_a par calcul de la moyenne de $F_a(h,p)$ pour des fréquences comprises entre 30 MHz et 300 MHz.....	284
B.4.1	Généralités	284
B.4.2	Mesurage de $F_a(h,H)$ par la méthode SAM et déduction de F_a	284
B.4.3	Mesurage de $F_a(h,H)$ par la méthode TAM et déduction de F_a	288
B.5	Mesurage du facteur F_a des doublets accordés placés au-dessus d'un plan de masse de référence dans la gamme de fréquences comprise entre 30 MHz et 1 000 MHz	290
B.5.1	Généralités	290
B.5.2	Mesurage de F_a par la méthode SAM	290
B.5.3	Mesurage de F_a par la méthode TAM	293
Annexe C (informative) Justifications relatives aux équations utilisées dans l'étalonnage des antennes et informations pertinentes concernant les caractéristiques d'antennes pour l'analyse d'incertitude dans la gamme de fréquences comprise entre 30 MHz et 1 GHz		295
C.1	Généralités	295
C.2	Facteur d'antenne et gain d'antenne	295
C.2.1	Relation entre l'AF et le gain pour les antennes dans un environnement en espace libre	295
C.2.2	Relation entre l'AF et le gain pour les antennes monopôles sur un plan de masse de référence de grande surface	297

C.3	Équations pour la perte d'insertion entre les antennes	298
C.3.1	Perte d'insertion d'emplacement mesurée à un emplacement d'étalonnage en espace libre	298
C.3.2	Perte d'insertion d'emplacement mesurée à un emplacement sur plan de masse de référence métallique	300
C.3.3	Affaiblissement de l'emplacement mesuré avec un emplacement sur plan de masse de référence métallique.....	302
C.4	Contribution à l'incertitude due aux effets de champ proche.....	303
C.5	Contribution à l'incertitude due au couplage de proximité des antennes	304
C.6	Contribution à l'incertitude due à la réflexion sur le plan de masse de référence	306
C.6.1	Couplage avec la représentation sur le plan de masse de référence.....	306
C.6.2	Facteurs de correction $\Delta F_{a,SSM}$ pour le facteur F_a d'une antenne biconique.....	312
C.7	Contribution à l'incertitude due au diagramme de rayonnement des antennes.....	314
C.7.1	Généralités.....	314
C.7.2	Antennes biconiques	315
C.7.3	Antennes LPDA	316
C.7.4	Antennes hybrides	316
C.7.5	Antennes cornets et LPDA pour des fréquences comprises entre 1 GHz et 18 GHz	317
Annexe D (informative) Historique et justifications pour l'étalonnage des antennes à des fréquences au-delà de 1 GHz		322
D.1	Incertitude de désadaptation	322
D.2	Couplage mutuel entre les antennes et réflexion dans la chambre	322
D.3	Distance de séparation des antennes et centre de phase.....	323
D.4	Exemple de gain d'une antenne DRH à une distance de 1 m.....	325
Annexe E (informative) Notes relatives aux budgets d'incertitude de mesure		327
E.1	Généralités	327
E.2	Notes pour les budgets d'incertitude de mesure	327
Annexe F (informative) Incertitudes de désadaptation dues à un dispositif à deux ports connecté entre un port d'émission et un port de réception.....		338
Annexe G (informative) Méthode de vérification pour l'étalonnage des antennes monopôles et analyse d'incertitude de la méthode ESCM		340
G.1	Méthode de vérification pour l'étalonnage des antennes monopôles par la méthode des ondes planes dans une gamme de fréquences de 5 MHz à 30 MHz	340
G.1.1	Méthode d'étalonnage	340
G.1.2	Évaluation d'incertitude pour l'étalonnage d'antennes monopôles par la méthode des ondes planes	341
G.2	Analyse d'incertitude de l'ESCM	342
G.2.1	Effet d'une longueur de fouet de plus de $\lambda/8$	342
G.2.2	Effet sur le facteur AF d'une antenne monopôle montée sur un trépied.....	344
G.2.3	Antenne monopôle recevant un champ électrique	345
G.2.4	Méthode ESCM	346
G.2.5	Incertitudes associées à la méthode ESCM	348
G.2.6	Variante à l'antenne fictive pour laquelle $F_{ac} = V_D - V_L$	350
Annexe H (informative) Méthode de la bobine d'Helmholtz pour l'étalonnage d'antennes boucles jusqu'à une fréquence de 150 kHz		352
H.1	Méthode de mesure	352
H.2	Incertitudes.....	355

Bibliographie.....	356
Figure 1 – Montage pour la détermination du facteur AF au moyen d'un analyseur de réseau	197
Figure 2 – Montage pour la détermination du facteur AF au moyen d'un récepteur de mesure et d'un générateur de signaux	198
Figure 3 – Exemple de montage d'un condensateur dans l'antenne fictive	199
Figure 4 – Schéma de principe d'un montage à cellules TEM pour antennes boucles passives	204
Figure 5 – Schéma de principe d'un montage à cellules TEM pour antennes boucles actives	205
Figure 6 – Exemple de pointe résonnante due à des connexions d'éléments biconiques inadaptées, avec pas de 2 MHz	207
Figure 7 – Montage d'antennes pour le mesurage de SIL à un emplacement d'étalonnage en espace libre	216
Figure 8 – Montage d'antennes pour le mesurage de SIL et de SA à un emplacement d'étalonnage sur plan de masse de référence	217
Figure 9 – Montage d'antennes pour la méthode TAM à un emplacement d'étalonnage en espace libre	222
Figure 10 – Montage d'antennes pour la méthode TAM sur un emplacement d'étalonnage avec plan de masse de référence métallique.....	225
Figure 11 – Montage d'antennes pour la méthode SSM	227
Figure 12 – Montage d'antennes pour la méthode SAM sur emplacement d'étalonnage avec un plan de masse de référence métallique.....	230
Figure 13 – Distance de séparation par rapport au centre de phase d'une antenne LPDA.....	233
Figure 14 – Antenne LPDA à géométrie conique courbe	235
Figure 15 – Distance de séparation par rapport au centre de phase des antennes cornets (voir détails en [49])	236
Figure 16 – Représentation schématique d'une antenne DRH illustrant les emplacements relatifs du point de champ et du centre de phase de l'antenne.....	237
Figure 17 – Montage d'antennes biconiques pour la méthode SAM utilisant la polarisation verticale, et illustrant l'antenne monocône appariée ainsi qu'un exemple d'AUC biconique à éléments contractiles	252
Figure 18 – Montage d'essai pour l'étalonnage des antennes LPDA et hybrides positionnées à une hauteur élevée.....	255
Figure 19 – Montage pour antennes LPDA au-dessus d'un matériau absorbant	257
Figure 20 – Montage pour les mesurages d'émission au moyen d'un analyseur de réseau	259
Figure A.1 – Illustration des angles des rayons électromagnétiques sous-tendus entre l'antenne LPDA balayée, l'antenne LPDA à hauteur fixe et le plan de masse de référence	272
Figure A.2 – Facteur F_a d'une antenne biconique avec un symétriseur de 200Ω , mesuré par la méthode VP de 9.3 et par la méthode SSM de 8.4 sans correction	272
Figure A.3 – Facteur F_a d'une antenne biconique avec un symétriseur de 200Ω , mesuré par la méthode VP de 9.3 et par la méthode SSM de 8.4 avec correction	273
Figure A.4 – Distance de séparation par rapport au centre de phase d'une antenne LPDA.....	275
Figure A.5 – Propriétés statistiques de balayages S_{21} multiples (minimum, maximum et valeur moyenne)	277

Figure A.6 – Écart-type de S_{21}	278
Figure A.7 – Écart-type normalisé de S_{21}	278
Figure C.1 – Modèle simplifié d'une antenne de réception.....	296
Figure C.2 – Mesurage de la perte d'insertion pour l'étalonnage d'antennes à un emplacement d'étalonnage en espace libre.....	298
Figure C.3 – Mesurage de la perte d'insertion pour l'étalonnage d'antennes à un emplacement d'étalonnage avec plan de masse de référence métallique	300
Figure C.4 – Comparaison de l'intensité de champ donnée par l'Équation (C.17) avec celle de la région de champ proche donnée par l'Équation (C.31)	304
Figure C.5 – Calculs théoriques des effets du couplage de proximité sur le facteur AF obtenu par la méthode TAM (conditions en espace libre)	306
Figure C.6 – Écart de l'AF par rapport à la valeur en espace libre F_a dû au couplage mutuel avec la représentation dans un plan de masse de référence métallique (résultats théoriques)	308
Figure C.7 – Variation de $F_a(h,H)$ d'une antenne biconique avec un symétriseur de 50 Ω , et une gamme de fréquences comprise entre 30 MHz et 320 MHz à des hauteurs avec une distance de séparation de 0,5 m au-dessus d'un plan de masse de référence compris entre 1 m et 4 m	309
Figure C.8 – AF de la Figure C.7 normalisé à l'AF en espace libre.....	310
Figure C.9 – Variation de $F_a(h,H)$ d'une antenne biconique avec un symétriseur de 200 Ω , et une gamme de fréquences comprise entre 30 MHz et 320 MHz à des hauteurs avec une distance de séparation de 0,5 m au-dessus d'un plan de masse de référence compris entre 1 m et 4 m.....	311
Figure C.10 – Diagramme d'une section triangulaire d'élément d'antenne biconique	314
Figure C.11 – Exemples de diagrammes de rayonnement (gain relatif réalisé) de deux exemples d'antennes biconiques comparées à l'antenne doublet accordée demi-onde théorique	315
Figure C.12 – Exemples de diagrammes de rayonnement (gain relatif réalisé) de trois exemples d'antennes LPDA comparées à une antenne doublet accordée demi-onde théorique	316
Figure C.13 – Exemples de diagrammes de rayonnement (gain relatif réalisé) d'un exemple d'antenne hybride comparée à une antenne doublet accordée demi-onde théorique	317
Figure C.14 – Exemple de diagrammes de rayonnement pour une antenne DRH classique	318
Figure C.15 – Exemple de diagrammes de rayonnement pour une antenne DRH nouvelle.....	319
Figure C.16 – Exemple de diagrammes de rayonnement pour une antenne LPDA classique	320
Figure C.17 – Exemple de diagrammes de rayonnement pour une antenne LPDA de type V	321
Figure D.1 – Centres de phase relatifs d'une antenne DRH et d'une antenne LPDA.....	323
Figure D.2 – Système de transmission entre une antenne cornet et une antenne LPDA	324
Figure D.3 – Facteurs AF mesurés d'une antenne DRH à une fréquence de 4,5 GHz.....	325
Figure D.4 – Graphique illustrant le gain réalisé à une distance de 1 m pour une antenne DRH.....	326
Figure E.1 – Comparaison de SIL mesurée et de SIL prévue pour une antenne doublet calculable – élément à 60 MHz	330
Figure E.2 – Comparaison de SIL mesurée et de SIL prévue pour une antenne doublet calculable – élément à 180 MHz	331
Figure E.3 – Réflectivité des matériaux absorbants de la chambre.....	335

Figure E.4 – Système d'alignement laser	336
Figure F.1 – Schéma de fluence d'un dispositif à deux ports entre un port d'émission et un port de réception.....	338
Figure F.2 – Réduction de la fluence de signal.....	338
Figure G.1 – Diagramme illustrant la méthode de connexion du fouet en laiton au connecteur de cloison de type N mâle.....	341
Figure G.2 – Graphique de l'amplitude du terme du rapport $\tan(\dots)$ dans l'Équation (4) de 5.1.2.2	343
Figure G.3 – Représentation graphique de l'Équation (4) de 5.1.2.2, capacité propre C_a d'une antenne monopôle d'une longueur de 1 m.....	343
Figure G.4 – Représentation graphique de l'Équation (5) de 5.1.2.2 facteur de correction de la hauteur L_h	344
Figure G.5 – Montage d'étalonnage composé d'une antenne biconique, d'une antenne boucle et d'une antenne monopôle élevée avec des câbles d'alimentation verticaux	345
Figure G.6 – Représentation de circuit équivalent pour un système d'antennes monopôles	346
Figure G.7 – Etalonnage de l'antenne monopôle à l'aide de la méthode ECSM	347
Figure G.8 – Représentation de circuit équivalent pour la méthode ECSM	347
Figure G.9 – Représentation de circuit simplifiée pour la Figure G.8	348
Figure G.10 – Circuit pour antenne fictive avec simulation des effets de la hauteur d'antenne effective h_e	351
Figure H.1 – Schéma de montage de la méthode de la bobine d'Helmholtz.....	352
Figure H.2 – Variation de H/I dans le plan central entre les bobines	354
Tableau 1 – Synthèse des méthodes d'étalonnage au-delà d'une fréquence de 30 MHz pour F_a	192
Tableau 2 – Méthodes d'étalonnage au-delà d'une fréquence de 30 MHz par numéro de paragraphe	193
Tableau 3 – Pas de fréquences pour l'étalonnage des antennes monopôles	194
Tableau 4 – Exemple de budget d'incertitude de mesure pour le F_{ac} d'une antenne monopôle étalonnée par la méthode ECSM à l'aide de l'Équation (9).....	201
Tableau 5 – Exemple de budget d'incertitude de mesure pour F_{aH} d'une antenne boucle mesuré dans une cellule TEM.....	205
Tableau 6 – Pas de fréquence pour l'étalonnage d'antennes à large bande	206
Tableau 7 – Exemple de budget d'incertitude de mesure pour les composantes communes d'un résultat de mesure de SIL évalué à partir de l'Équation (20)	218
Tableau 8 – Paramètres utilisés pour déterminer les centres de phase des segments A et B235	
Tableau 9 – Exemple de budget d'incertitude de mesure de F_a pour une antenne biconique à polarisation horizontale, mesuré par la méthode SSM	246
Tableau 10 – Exemple de budget d'incertitude de mesure pour le facteur F_a d'une antenne biconique mesuré par la méthode SAM dans une FAR dans la gamme de fréquences comprise entre 30 MHz et 300 MHz	249
Tableau 11 – Exemple de budget d'incertitude de mesure pour le facteur F_a d'une antenne doublet accordée obtenu par la méthode SAM dans une FAR sur un emplacement d'étalonnage en espace libre, en utilisant un doublet accordé calculable comme STA dans la gamme de fréquences au-delà de 60 MHz	250
Tableau 12 – Exemple de budget d'incertitude de mesure pour le facteur F_a d'une antenne biconique, mesuré en utilisant la méthode SAM pour une polarisation verticale dans la gamme de fréquences comprise entre 30 MHz et 300 MHz.....	253

Tableau 13 – Exemple de budget d'incertitude de mesure pour le facteur F_a des antennes LPDA et hybrides, mesuré en utilisant la méthode TAM à une hauteur de 4 m pour la gamme de fréquences comprise entre 200 MHz et 3 GHz	256
Tableau 14 – Exemple de budget d'incertitude de mesure pour le facteur F_a d'une antenne cornet, mesuré par la méthode TAM au-delà d'une fréquence de 1 GHz pour une distance de séparation de 3 m en espace libre.....	261
Tableau A.1 – Exemple de profondeurs de broche de connecteurs mâle et femelle de type N et tolérances correspondantes avec un calibre de profondeur de broche de type N.....	279
Tableau A.2 – Caractéristiques types d'un adaptateur de type N.....	279
Tableau B.1 – Montage d'antennes pour la méthode SAM pour des antennes doublets accordées avec calcul de la moyenne de $F_a(h,H)$	285
Tableau B.2 – Montage d'antennes pour la méthode SAM pour des antennes biconiques avec calcul de la moyenne de $F_a(h,H)$	285
Tableau B.3 – Exemple de budget d'incertitude de mesure pour le facteur $F_a(h,H)$ d'une antenne biconique, mesuré par la méthode SAM dans la gamme de fréquences comprise entre 30 MHz et 300 MHz	286
Tableau B.4 – Exemple de budget d'incertitude de mesure de F_a d'une antenne biconique par la méthode SAM avec calcul de la moyenne de $F_a(h,H)$ dans la gamme de fréquences en dessous de 300 MHz.....	287
Tableau B.5 – Exemple de budget d'incertitude de mesure du facteur $F_a(h,H)$ d'une antenne biconique, obtenu par la méthode TAM avec le montage d'antennes spécifié au Tableau B.2	289
Tableau B.6 – Exemple de budget d'incertitude de mesure du F_a d'une antenne biconique, obtenu par la méthode TAM avec calcul de la moyenne de $F_a(h,H)$ dans la gamme de fréquences en dessous de 300 MHz	290
Tableau B.7 – Montages d'antennes adaptés à la méthode SAM pour la détermination du facteur F_a des antennes doublets accordées à des fréquences spécifiques dans la gamme comprise entre 30 MHz et 1 000 MHz	292
Tableau B.8 – Exemple de budget d'incertitude de mesure pour le facteur F_a d'une antenne doublet accordée, obtenu par la méthode SAM, en utilisant les montages d'antennes spécifiés dans le Tableau B.7	293
Tableau B.9 – Exemple de budget d'incertitude de mesure pour le facteur F_a d'une antenne doublet accordée, obtenu par la méthode TAM, en utilisant les montages d'antennes spécifiés dans le Tableau B.7	294
Tableau C.1 – Exemples de plage de hauteurs d'antenne h pour une polarisation horizontale dans le cas d'une erreur $\leq 0,3$ dB	312
Tableau C.2 – Facteurs de correction $\Delta F_{a,SSM}$ qui permettent de convertir l'AF mesuré par la méthode SSM en facteur F_a	313
Tableau C.3 – Dimensions mécaniques pour l'antenne biconique [52].....	314
Tableau G.1 – Exemple de budget d'incertitude de mesure du F_a d'une antenne monopôle au moyen de la SAM.....	342
Tableau H.1 – Exemple de budget d'incertitude de mesure du F_{aH} d'une antenne boucle, mesuré par la méthode de la bobine d'Helmholtz pour la gamme de fréquences comprise entre 50 kHz et 150 kHz	355

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 1-6: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques
et de l'immunité aux perturbations radioélectriques –
Étalonnage des antennes CEM**

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.

La Norme internationale CISPR 16-1-6 a été établie par le sous-comité A du CISPR: Mesures des perturbations radioélectriques et méthodes statistiques.

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

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
CISPR/A/1087/FDIS	CISPR/A/1098/RVD

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

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/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 cette publication 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 1-6: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Étalonnage des antennes CEM

1 Domaine d'application

La présente partie de la CISPR 16 fournit des procédures et des informations à l'appui concernant l'étalonnage des antennes afin de déterminer les facteurs d'antenne (AF) applicables aux antennes destinées à être utilisées pour les mesurages des perturbations rayonnées.

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

Le facteur d'antenne est influencé par l'environnement immédiat et par sa position dans l'espace par rapport à la source de rayonnement. La présente norme se concentre sur les étalonnages d'antennes qui fournissent l'AF dans un environnement en espace libre dans l'axe de visée de l'antenne. La gamme de fréquences traitée est comprise entre 9 kHz et 18 GHz. Les types d'antenne appropriés couverts dans la présente norme sont les suivants: antennes monopôles, boucles, doublets, biconiques, log-périodiques à doublet (LPDA), hybrides et cornets.

Des lignes directrices sont également fournies concernant les incertitudes de mesure associées à chaque méthode et à chaque configuration d'étalonnage, ainsi qu'à l'instrumentation d'essai utilisée.

2 Références normatives

Les documents suivants sont cités en référence de manière normative, en intégralité ou en partie, dans le présent document et sont indispensables pour son application. 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 16-1-4:2010, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-4: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Antennes et emplacements d'essai pour les mesures des perturbations rayonnées*

CISPR 16-1-4:2010/AMD 1:2012

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*

IEC 60050-161, *Vocabulaire Électrotechnique International (VEI) – Chapitre 161: Compatibilité électromagnétique*

Guide ISO/IEC 98-3:2008, *Incertitude de mesure – Partie 3: Guide pour l'expression de l'incertitude de mesure (GUM:1995)*