

CONSOLIDATED VERSION

VERSION CONSOLIDÉE



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

ICS 33.100.10; 33.100.20

ISBN 978-2-8322-3840-0

**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

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

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.....	45
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.....	85
Annex A (informative) Background information and rationale for the methods of antenna calibration		86
A.1	Rationale for the need for several calibration methods and for use of a ground-plane site.....	86
A.2	Special measures for calibration of omnidirectional antennas.....	87
A.2.1	General	87
A.2.2	Difficulties with calibration of omnidirectional antennas.....	88
A.2.3	Minimizing reflections from antenna supports and radiation from cables	88
A.2.4	Field taper and monocone set-up for VP biconical calibration	89
A.2.5	Use of HP or VP in a FAR.....	90
A.2.6	Substitution where the STA is the same model as the AUC.....	90
A.3	Calibrations using broadband calculable dipole antennas	90
A.3.1	Disadvantages of tuned dipole antennas.....	90
A.3.2	Advantages of broadband calculable dipole antennas.....	91
A.3.3	Disadvantages of calculable dipole antennas.....	91
A.4	Rationale for F_a and biconical/LPDA antenna cross-over frequency.....	91
A.4.1	Rationale for F_a	91
A.4.2	Cross-over frequency from biconical to LPDA antennas.....	92
A.4.3	Biconical element designs	92
A.5	Sources of increased uncertainty in measurement of F_a by the SSM.....	93
A.6	Calibration of LPDA antennas using smaller separation distances.....	95
A.6.1	Calibration of LPDA antennas using smaller separation distances	95
A.6.2	Correction of electric field strength to account for phase centre of LPDA antennas	96
A.7	Cross-polar discrimination of LPDA antennas	97
A.8	Tips for measurement instrumentation	98
A.8.1	Signal-to-noise ratio	98
A.8.2	Connector pin depth	100
A.8.3	Effect of added adaptor in a “cable-through” measurement	100
A.8.4	Compression level	101
A.8.5	Source power slope function above 6 GHz.....	101
A.8.6	Frequency increment for detection of resonances	101
A.8.7	Return loss or VSWR.....	101
A.9	Uncertainty considerations	102
A.9.1	General	102
A.9.2	Achievable uncertainties for F_a	102
A.9.3	Uncertainties of dipoles above a ground plane.....	102
A.9.4	Verification of uncertainty by comparison of methods	103
Annex B (normative) Calibration of biconical antennas and tuned dipole antennas above a ground plane using the TAM and the SAM		104

B.1	General.....	104
B.2	Characteristics of biconical antennas and dipole antennas.....	104
B.3	Frequencies	104
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	105
B.4.1	General	105
B.4.2	Measurement of $F_a(h,H)$ by the SAM and derivation of F_a	105
B.4.3	Measurement of $F_a(h,H)$ by the TAM and derivation of F_a	108
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.....	110
B.5.1	General	110
B.5.2	Measurement of F_a by the SAM.....	110
B.5.3	Measurement of F_a by the TAM	112
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		114
C.1	General.....	114
C.2	Antenna factor and antenna gain	114
C.2.1	Relationship between AF and gain for antennas in a free-space environment.....	114
C.2.2	Relationship between AF and gain for monopole antennas on a large ground plane	116
C.3	Equations for the insertion loss between antennas.....	116
C.3.1	Site insertion loss measured at a free-space calibration site	116
C.3.2	Site insertion loss measured at a metal ground-plane site	118
C.3.3	Site attenuation measured at a metal ground-plane site.....	120
C.4	Uncertainty contribution caused by near-field effects	121
C.5	Uncertainty contribution due to the antenna proximity coupling	122
C.6	Uncertainty contribution due to the ground plane reflection	124
C.6.1	Coupling to image in ground plane.....	124
C.6.2	Correction factors $\Delta F_{a,SSM}$ for F_a of biconical antenna	129
C.7	Uncertainty contribution due to the antenna radiation pattern.....	130
C.7.1	General	130
C.7.2	Biconical antennas	131
C.7.3	LPDA antennas.....	131
C.7.4	Hybrid antennas	132
C.7.5	Horn and LPDA antennas from 1 GHz to 18 GHz	133
Annex D (informative) Background information and rationale for calibration of antennas at frequencies above 1 GHz.....		136
D.1	Mismatch uncertainty	136
D.2	Mutual coupling between antennas and chamber reflection	136
D.3	Antenna separation distance and phase centre	136
D.4	Example gain of DRH at 1 m distance	138
Annex E (informative) Notes for measurement uncertainty budgets.....		140
E.1	General.....	140
E.2	Notes for measurement uncertainty budgets	140
Annex F (informative) Mismatch uncertainties from a two-port device connected between a transmit port and a receive port		150
Annex G (informative) Verification method for calibration of monopole antennas and uncertainty analysis of the ECSM.....		152

G.1	Verification method for calibration of monopole antennas by the plane wave method from 5 MHz to 30 MHz	152
G.1.1	Calibration procedure	152
G.1.2	Uncertainty evaluation for the calibration of monopole antennas by the plane wave method	153
G.2	Uncertainty analysis of the ECSM	153
G.2.1	Effect of rod length longer than $\lambda/8$	153
G.2.2	Effect on AF of monopole antenna mounted on a tripod	155
G.2.3	Monopole antenna receiving an electric field	156
G.2.4	Equivalent capacitance substitution method (ECSM)	156
G.2.5	Uncertainties associated with the ECSM	158
G.2.6	An alternative to the dummy antenna, for which $F_{ac} = V_D - V_L$	160
Annex H (informative)	Helmholtz coil method for calibration of loop antennas up to 150 kHz	161
H.1	Measurement procedure	161
H.2	Uncertainties	163
Annex I (normative)	Antenna pattern measurement method in the frequency range above 1 GHz, with measurement uncertainty budget	165
I.1	General	165
I.2	Test set-up	165
I.3	Test method	167
I.4	Test report	170
I.5	Uncertainty budget	170
Bibliography		172
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	83
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	94
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.....	95
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	95
Figure A.4 – Separation distance relative to the phase centre of an LPDA antenna.....	97
Figure A.5 – Statistical properties of multiple S_{21} sweeps (minimum, maximum, and mean value).....	99
Figure A.6 – Standard deviation of S_{21}	99
Figure A.7 – Normalized standard deviation of S_{21}	100
Figure C.1 – Simplified model of a receive antenna	115
Figure C.2 – Insertion loss measurement for antenna calibration at a free-space calibration site	117
Figure C.3 – Insertion loss measurement for antenna calibration at a calibration site with a metal ground plane	119
Figure C.4 – Comparison of field strength given by Equation (C.17) versus in near-field region given by Equation (C.31).....	122
Figure C.5 – Theoretical calculations of proximity coupling effects on the AF from the TAM (free-space conditions)	124
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)	126
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.....	127
Figure C.8 – AF of Figure C.7 normalized to free-space AF	127
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.....	128
Figure C.10 – Diagram of one triangular section of a biconical antenna element.....	130
Figure C.11 – Examples of radiation patterns (relative realized gain) of two example biconical antennas compared to ideal half-wave tuned dipole antenna.....	131
Figure C.12 – Examples of radiation patterns (relative realized gain) of three example LPDA antennas, compared to ideal half-wave tuned dipole antenna.....	132
Figure C.13 – Examples of radiation patterns (relative realized gain) of an example hybrid antenna, compared to ideal half-wave tuned dipole antenna.....	133
Figure C.14 – Example radiation patterns for classical DRH antenna	134
Figure C.15 – Example radiation patterns for novel DRH antenna	134
Figure C.16 – Example radiation patterns for classical LPDA antenna	135
Figure C.17 – Example radiation patterns for V-type LPDA antenna.....	135
Figure D.1 – Relative phase centres of a DRH antenna and an LPDA antenna	137
Figure D.2 – A transmission system between a horn antenna and an LPDA antenna	138
Figure D.3 – Measured AFs of a DRH antenna at 4,5 GHz.....	138
Figure D.4 – Graph showing the realized gain at 1 m for a DRH antenna	139
Figure E.1 – Comparison of measured and predicted SIL for calculable dipole antenna – 60 MHz element.....	143

Figure E.2 – Comparison of measured and predicted SIL for calculable dipole antenna – 180 MHz element	144
Figure E.3 – Reflectivity of chamber absorbing materials	148
Figure E.4 – Laser alignment system	148
Figure F.1 – Flow graph representation of a two-port device between a transmit port and a receiver port.....	150
Figure F.2 – Signal flow reduction.....	150
Figure G.1 – Diagram showing how the brass rod connects to the type N male bulkhead connector.....	153
Figure G.2 – Graph of the magnitude of the $\tan(\dots)$ ratio term in Equation (4) of 5.1.2.2	154
Figure G.3 – Graphical presentation of Equation (4) of 5.1.2.2 self-capacitance C_a of a 1 m monopole	154
Figure G.4 – Graphical presentation of Equation (5) of 5.1.2.2 height correction factor L_h	155
Figure G.5 – Calibration set-up consisting of a biconical and a loop antenna, and an elevated monopole antenna with vertical feed wires.....	156
Figure G.6 – Equivalent circuit representation for a monopole antenna system	156
Figure G.7 – Monopole antenna calibration using the ECSM	157
Figure G.8 – Equivalent circuit representation for the ECSM	157
Figure G.9 – Simplified circuit representation for Figure G.8	158
Figure G.10 – Circuit for dummy antenna simulating the effects of the antenna effective height, h_e	160
Figure H.1 – Diagram of Helmholtz coil method set-up.....	161
Figure H.2 – Variation of H/I across the central plane between the coils	163
Figure I.1 – Typical set-up for antenna pattern measurement.....	166
Figure I.2 – Definition of d_1	166
Figure I.3 – Definition of d_2	167
Figure I.4 – With d_1 held constant, d_2 is increased in x cm steps	168
Figure I.5 – With d_2 held constant, d_1 is increased in x cm steps	168
Figure I.6 – Distance and angle correction	170
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	100
Table A.2 – Typical type N adaptor characteristics.....	101
Table B.1 – Antenna set-up for the SAM for tuned dipole antennas with averaging of $F_a(h,H)$	105
Table B.2 – Antenna set-up for the SAM for biconical antennas with averaging of $F_a(h,H)$	106
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	106
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	108
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.....	109
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	109
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	111
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	112
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	113
Table C.1 – Examples of the antenna height range h for horizontal polarization for an error $\leq 0,3$ dB	128
Table C.2 – Correction factors $\Delta F_{a,SSM}$ to convert AF measured by SSM to F_a	129
Table C.3 – Mechanical dimensions for the biconical antenna [52].....	130
Table G.1 – Example measurement uncertainty budget for F_a of a monopole antenna measured by the SAM.....	153
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	164
Table I.1 – Correction of angle α for a distance of $d_1 = 3$ m (refer to Figure I.6).....	169
Table I.2 – Example measurement uncertainty budget for antenna pattern measurement above 1 GHz.....	171

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.

DISCLAIMER

This Consolidated version is not an official IEC Standard and has been prepared for user convenience. Only the current versions of the standard and its amendment(s) are to be considered the official documents.

This Consolidated version of CISPR 16-1-6 bears the edition number 1.1. It consists of the first edition (2014-12) [documents CISPR/A/1087/FDIS and CISPR/A/1098/RVD] and its amendment 1 (2017-01) [documents CISPR/A/1195/FDIS and CISPR/A/1204/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

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

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*.

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 amendment 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	188
1 Domaine d'application	190
2 Références normatives	190
3 Termes, définitions et abréviations	191
3.1 Termes et définitions	191
3.1.1 Termes relatifs aux antennes	191
3.1.2 Termes relatifs au facteur d'antenne	195
3.1.3 Termes relatifs à l'emplacement de mesure	196
3.1.4 Autres termes	197
3.2 Abréviations	198
4 Concepts fondamentaux	199
4.1 Généralités	199
4.2 Concept de facteur d'antenne	199
4.3 Méthodes d'étalonnage pour des fréquences de 30 MHz et plus	200
4.3.1 Généralités	200
4.3.2 Distances de séparation minimales des antennes	200
4.3.3 Considérations générales pour la méthode TAM	201
4.3.4 Considérations générales pour la méthode SSM	201
4.3.5 Considérations générales pour la méthode SAM	201
4.4 Incertitudes de mesure pour les résultats des mesurages d'étalonnage des antennes	202
4.5 Synthèse des méthodes de mesure permettant d'obtenir l'AF	202
5 Méthodes d'étalonnage pour la gamme de fréquences comprise entre 9 kHz et 30 MHz	206
5.1 Étalonnage des antennes monopôles	206
5.1.1 Généralités	206
5.1.2 Étalonnage par la méthode ECSM	207
5.2 Étalonnage des antennes boucles	213
5.2.1 Généralités	213
5.2.2 Méthode des cellules TEM (Crawford)	214
6 Fréquences, matériel et vérifications de fonctionnement pour des étalonnages à des fréquences supérieures ou égales à 30 MHz	218
6.1 Fréquences d'étalonnage	218
6.1.1 Gammes et pas de fréquences d'étalonnage	218
6.1.2 Fréquence de transition pour les antennes hybrides	219
6.2 Exigences concernant les instruments de mesure pour les étalonnages d'antennes	220
6.2.1 Types de matériel	220
6.2.2 Désadaptation	221
6.2.3 Dynamique et reproductibilité de mesurage de SIL	223
6.2.4 Rapport signal/bruit	223
6.2.5 Mâts et câbles d'antennes	224
6.3 Vérifications de fonctionnement d'une AUC	224
6.3.1 Généralités	224
6.3.2 Équilibre d'une antenne	225
6.3.3 Caractéristique de polarisation croisée d'une antenne	225

6.3.4	Diagrammes de rayonnement d'une antenne	226
7	Paramètres et équations de base communs aux méthodes d'étalonnage d'antennes pour des fréquences au-delà de 30 MHz.....	226
7.1	Synthèse des méthodes de mesure permettant d'obtenir l'AF.....	226
7.2	Mesurages de la perte d'insertion de l'emplacement	227
7.2.1	Généralités	227
7.2.2	Méthode de mesure de SIL et de SA.....	227
7.2.3	Composantes d'incertitude communes d'un mesurage de SIL	229
7.3	Équations de base pour le calcul de l'AF à partir des mesurages de SIL et de SA.....	230
7.3.1	Facteur d'antenne issu des mesurages de SIL	230
7.3.2	Relation entre AF et SIL pour un emplacement d'étalonnage en espace libre	231
7.3.3	Relation entre AF et SIL pour un emplacement d'étalonnage avec un plan de masse de référence métallique.....	231
7.4	Équations pour le facteur AF et les incertitudes de mesure avec les méthodes TAM, SSM et SAM	233
7.4.1	Méthode TAM	233
7.4.2	SSM	238
7.4.3	Méthode SAM	241
7.5	Paramètres de spécification du centre de phase et de la position des antennes.....	243
7.5.1	Généralités	243
7.5.2	Position de référence et centres de phase des antennes LPDA et hybrides	244
7.5.3	Centres de phase des antennes cornets	247
8	Détails pour les méthodes d'étalonnage TAM, SAM et SSM pour des fréquences de 30 MHz et plus.....	249
8.1	Généralités	249
8.2	Considérations concernant les étalonnages F_a à l'aide de la méthode TAM.....	249
8.2.1	Considérations générales	249
8.2.2	Considérations concernant l'emplacement d'étalonnage et le montage d'antennes pour une utilisation avec la méthode TAM.....	250
8.2.3	Paramètres d'antennes pour un environnement en espace libre ou un emplacement sur plan de masse de référence	251
8.2.4	Validation de la méthode d'étalonnage	252
8.3	Considérations concernant les étalonnages F_a à l'aide de la méthode SAM.....	253
8.3.1	Considérations générales et emplacement d'étalonnage pour une utilisation de la méthode SAM	253
8.3.2	Méthodes d'étalonnage et montages d'antennes pour le facteur F_a par la méthode SAM	254
8.3.3	Paramètres de la STA.....	255
8.4	Étalonnages SSM avec un emplacement sur plan de masse de référence, à des fréquences comprises entre 30 MHz et 1 GHz	256
8.4.1	Considérations générales et emplacement d'étalonnage pour la méthode SSM.....	256
8.4.2	Méthode d'étalonnage pour la SSM	256
8.4.3	Calcul de F_a	257
8.4.4	Incertitudes du facteur F_a obtenu avec la méthode SSM.....	257
9	Méthodes d'étalonnage pour des types d'antenne spécifiques pour des fréquences de 30 MHz et plus.....	258
9.1	Généralités	258

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	258
9.2.1	Considérations générales et exigences concernant l'emplacement d'étalonnage	258
9.2.2	Méthode d'étalonnage et montage d'antennes pour une utilisation avec la méthode SAM	259
9.2.3	Incertitudes de F_a déterminées par la méthode SAM	260
9.2.4	Montage d'antennes à utiliser avec la méthode TAM (variante).....	262
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	263
9.3.1	Considérations générales et exigences concernant l'emplacement d'étalonnage	263
9.3.2	Méthode d'étalonnage et montage d'antennes	263
9.3.3	Incertitudes de F_a déterminées par la méthode SAM	264
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	266
9.4.1	Considérations générales et emplacement d'étalonnage pour un environnement en espace libre	266
9.4.2	Étalonnages utilisant la méthode TAM	267
9.4.3	Montage d'antennes à utiliser avec la méthode SAM	269
9.4.4	Autre montage d'antennes pour un emplacement comportant un matériau absorbant sur le sol.....	269
9.5	Étalonnage des antennes cornets et LPDA dans une FAR, pour des fréquences comprises entre 1 GHz et 18 GHz.....	270
9.5.1	Étalonnage utilisant la méthode TAM	270
9.5.2	Étalonnage et montage d'antennes pour la méthode SAM	273
Annexe A (informative) Historique et justifications des méthodes d'étalonnage des antennes.....		274
A.1	Justifications de la nécessité de plusieurs méthodes d'étalonnage et de l'utilisation d'un emplacement sur plan de masse de référence	274
A.2	Mesures spéciales propres à l'étalonnage des antennes omnidirectionnelles	276
A.2.1	Généralités	276
A.2.2	Difficultés d'étalonnage des antennes omnidirectionnelles.....	276
A.2.3	Réduction au minimum des réflexions des supports d'antennes et du rayonnement des câbles	276
A.2.4	Conicité de champ et montage d'antennes monocônes pour l'étalonnage des antennes biconiques à polarisation verticale.....	278
A.2.5	Utilisation de la HP ou de la VP dans une FAR	278
A.2.6	Situation de remplacement où les modèles de STA et d'AUC sont identiques	279
A.3	Étalonnages avec des antennes doublets calculables à large bande	279
A.3.1	Inconvénients des antennes doublets accordées	279
A.3.2	Avantages des antennes doublets calculables à large bande	280
A.3.3	Inconvénients des antennes doublets calculables	280
A.4	Justifications pour le facteur F_a et fréquence de transition entre les antennes biconiques et LPDA	280
A.4.1	Justifications pour le facteur F_a	280
A.4.2	Fréquence de transition entre les antennes biconiques et les antennes LPDA.....	281
A.4.3	Types d'éléments biconiques	282

A.5	Sources d'incertitude de mesure plus grande du facteur F_a avec la méthode SSM.....	282
A.6	Étalonnage des antennes LPDA en utilisant des distances de séparation réduites	286
A.6.1	Étalonnage des antennes LPDA en utilisant des distances de séparation réduites	286
A.6.2	Correction de l'intensité de champ électrique afin de tenir compte du centre de phase des antennes LPDA	286
A.7	Discrimination de polarisation croisée des antennes LPDA	287
A.8	Conseils pratiques pour l'instrumentation de mesure.....	288
A.8.1	Rapport signal/bruit	288
A.8.2	Profondeur des broches de connecteurs	291
A.8.3	Influence de l'adaptateur ajouté dans un mesurage "sur câbles traversants"	291
A.8.4	Niveau de compression	291
A.8.5	Fonction de pente de la puissance source au-delà d'une fréquence de 6 GHz.....	292
A.8.6	Pas de fréquence pour la détection des résonances	292
A.8.7	Affaiblissement de réflexion ou ROS.....	292
A.9	Considérations relatives à l'incertitude	293
A.9.1	Généralités	293
A.9.2	Incertitudes réalisables pour le facteur F_a	293
A.9.3	Incertitudes des doublets au-dessus d'un plan de masse de référence	293
A.9.4	Vérification de l'incertitude par comparaison des méthodes	294
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.....		295
B.1	Généralités	295
B.2	Caractéristiques des antennes biconiques et des antennes doublets	295
B.3	Fréquences.....	296
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.....	296
B.4.1	Généralités	296
B.4.2	Mesurage de $F_a(h,H)$ par la méthode SAM et déduction de F_a	296
B.4.3	Mesurage de $F_a(h,H)$ par la méthode TAM et déduction de F_a	300
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	302
B.5.1	Généralités	302
B.5.2	Mesurage de F_a par la méthode SAM	302
B.5.3	Mesurage de F_a par la méthode TAM	304
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		306
C.1	Généralités	306
C.2	Facteur d'antenne et gain d'antenne	306
C.2.1	Relation entre l'AF et le gain pour les antennes dans un environnement en espace libre	306
C.2.2	Relation entre l'AF et le gain pour les antennes monopôles sur un plan de masse de référence de grande surface	308

C.3	Équations pour la perte d'insertion entre les antennes	309
C.3.1	Perte d'insertion d'emplacement mesurée à un emplacement d'étalonnage en espace libre	309
C.3.2	Perte d'insertion d'emplacement mesurée à un emplacement sur plan de masse de référence métallique	311
C.3.3	Affaiblissement de l'emplacement mesuré avec un emplacement sur plan de masse de référence métallique	313
C.4	Contribution à l'incertitude due aux effets de champ proche	314
C.5	Contribution à l'incertitude due au couplage de proximité des antennes	315
C.6	Contribution à l'incertitude due à la réflexion sur le plan de masse de référence	317
C.6.1	Couplage avec la représentation sur le plan de masse de référence	317
C.6.2	Facteurs de correction $\Delta F_{a,SSM}$ pour le facteur F_a d'une antenne biconique	323
C.7	Contribution à l'incertitude due au diagramme de rayonnement des antennes	325
C.7.1	Généralités	325
C.7.2	Antennes biconiques	326
C.7.3	Antennes LPDA	327
C.7.4	Antennes hybrides	327
C.7.5	Antennes cornets et LPDA pour des fréquences comprises entre 1 GHz et 18 GHz	328
Annexe D (informative) Historique et justifications pour l'étalonnage des antennes à des fréquences au-delà de 1 GHz		333
D.1	Incertitude de désadaptation	333
D.2	Couplage mutuel entre les antennes et réflexion dans la chambre	333
D.3	Distance de séparation des antennes et centre de phase	334
D.4	Exemple de gain d'une antenne DRH à une distance de 1 m	336
Annexe E (informative) Notes relatives aux budgets d'incertitude de mesure		338
E.1	Généralités	338
E.2	Notes pour les budgets d'incertitude de mesure	338
Annexe F (informative) Incertitudes de désadaptation dues à un dispositif à deux ports connecté entre un port d'émission et un port de réception		349
Annexe G (informative) Méthode de vérification pour l'étalonnage des antennes monopôles et analyse d'incertitude de la méthode ECSM		351
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	351
G.1.1	Méthode d'étalonnage	351
G.1.2	Évaluation d'incertitude pour l'étalonnage d'antennes monopôles par la méthode des ondes planes	352
G.2	Analyse d'incertitude de l'ECSM	353
G.2.1	Effet d'une longueur de fouet de plus de $\lambda/8$	353
G.2.2	Effet sur le facteur AF d'une antenne monopôle montée sur un trépied	355
G.2.3	Antenne monopôle recevant un champ électrique	356
G.2.4	Méthode ECSM	357
G.2.5	Incertitudes associées à la méthode ECSM	359
G.2.6	Variante à l'antenne fictive pour laquelle $F_{ac} = V_D - V_L$	361
Annexe H (informative) Méthode de la bobine d'Helmholtz pour l'étalonnage d'antennes boucles jusqu'à une fréquence de 150 kHz		363
H.1	Méthode de mesure	363
H.2	Incertitudes	366

Annexe I (normative) Méthode de mesure du diagramme de rayonnement d'une antenne dans la plage de fréquences supérieure à 1 GHz, avec budget de l'incertitude de mesure.....	367
I.1 Généralités	367
I.2 Montage d'essai.....	368
I.3 Méthode d'essai.....	370
I.4 Rapport d'essai.....	373
I.5 Budget d'incertitude	373
Bibliographie.....	375

Figure 1 – Montage pour la détermination du facteur AF au moyen d'un analyseur de réseau	209
Figure 2 – Montage pour la détermination du facteur AF au moyen d'un récepteur de mesure et d'un générateur de signaux	210
Figure 3 – Exemple de montage d'un condensateur dans l'antenne fictive	211
Figure 4 – Schéma de principe d'un montage à cellules TEM pour antennes boucles passives	216
Figure 5 – Schéma de principe d'un montage à cellules TEM pour antennes boucles actives	217
Figure 6 – Exemple de pointe résonnante due à des connexions d'éléments biconiques inadaptées, avec pas de 2 MHz	219
Figure 7 – Montage d'antennes pour le mesurage de SIL à un emplacement d'étalonnage en espace libre	228
Figure 8 – Montage d'antennes pour le mesurage de SIL et de SA à un emplacement d'étalonnage sur plan de masse de référence	229
Figure 9 – Montage d'antennes pour la méthode TAM à un emplacement d'étalonnage en espace libre	234
Figure 10 – Montage d'antennes pour la méthode TAM sur un emplacement d'étalonnage avec plan de masse de référence métallique.....	237
Figure 11 – Montage d'antennes pour la méthode SSM	239
Figure 12 – Montage d'antennes pour la méthode SAM sur emplacement d'étalonnage avec un plan de masse de référence métallique.....	242
Figure 13 – Distance de séparation par rapport au centre de phase d'une antenne LPDA	245
Figure 14 – Antenne LPDA à géométrie conique courbe	247
Figure 15 – Distance de séparation par rapport au centre de phase des antennes cornets (voir détails en [49])	248
Figure 16 – Représentation schématique d'une antenne DRH illustrant les emplacements relatifs du point de champ et du centre de phase de l'antenne.....	249
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	264
Figure 18 – Montage d'essai pour l'étalonnage des antennes LPDA et hybrides positionnées à une hauteur élevée.....	267
Figure 19 – Montage pour antennes LPDA au-dessus d'un matériau absorbant	269
Figure 20 – Montage pour les mesurages d'émission au moyen d'un analyseur de réseau	271
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	284

Figure A.2 – Facteur F_a d'une antenne biconique avec un symétriseur de 200 Ω , mesuré par la méthode VP de 9.3 et par la méthode SSM de 8.4 sans correction	285
Figure A.3 – Facteur F_a d'une antenne biconique avec un symétriseur de 200 Ω , mesuré par la méthode VP de 9.3 et par la méthode SSM de 8.4 avec correction	285
Figure A.4 – Distance de séparation par rapport au centre de phase d'une antenne LPDA	287
Figure A.5 – Propriétés statistiques de balayages S_{21} multiples (minimum, maximum et valeur moyenne)	289
Figure A.6 – Écart-type de S_{21}	290
Figure A.7 – Écart-type normalisé de S_{21}	290
Figure C.1 – Modèle simplifié d'une antenne de réception.....	307
Figure C.2 – Mesurage de la perte d'insertion pour l'étalonnage d'antennes à un emplacement d'étalonnage en espace libre.....	309
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	311
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)	315
Figure C.5 – Calculs théoriques des effets du couplage de proximité sur le facteur AF obtenu par la méthode TAM (conditions en espace libre)	317
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)	319
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	320
Figure C.8 – AF de la Figure C.7 normalisé à l'AF en espace libre.....	321
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.....	322
Figure C.10 – Diagramme d'une section triangulaire d'élément d'antenne biconique	325
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	326
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	327
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	328
Figure C.14 – Exemple de diagrammes de rayonnement pour une antenne DRH classique	329
Figure C.15 – Exemple de diagrammes de rayonnement pour une antenne DRH nouvelle	330
Figure C.16 – Exemple de diagrammes de rayonnement pour une antenne LPDA classique	331
Figure C.17 – Exemple de diagrammes de rayonnement pour une antenne LPDA de type V	332
Figure D.1 – Centres de phase relatifs d'une antenne DRH et d'une antenne LPDA.....	334
Figure D.2 – Système de transmission entre une antenne cornet et une antenne LPDA	335

Figure D.3 – Facteurs AF mesurés d'une antenne DRH à une fréquence de 4,5 GHz.....	336
Figure D.4 – Graphique illustrant le gain réalisé à une distance de 1 m pour une antenne DRH	337
Figure E.1 – Comparaison de SIL mesurée et de SIL prévue pour une antenne doublet calculable – élément à 60 MHz	341
Figure E.2 – Comparaison de SIL mesurée et de SIL prévue pour une antenne doublet calculable – élément à 180 MHz	342
Figure E.3 – Réflectivité des matériaux absorbants de la chambre	346
Figure E.4 – Système d'alignement laser	347
Figure F.1 – Schéma de fluence d'un dispositif à deux ports entre un port d'émission et un port de réception	349
Figure F.2 – Réduction de la fluence de signal.....	349
Figure G.1 – Diagramme illustrant la méthode de connexion du fouet en laiton au connecteur de cloison de type N mâle.....	352
Figure G.2 – Graphique de l'amplitude du terme du rapport $\tan(\dots)$ dans l'Équation (4) de 5.1.2.2	354
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	354
Figure G.4 – Représentation graphique de l'Équation (5) de 5.1.2.2 facteur de correction de la hauteur L_h	355
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	356
Figure G.6 – Représentation de circuit équivalent pour un système d'antennes monopôles	357
Figure G.7 – Etalonnage de l'antenne monopôle à l'aide de la méthode ECSM	358
Figure G.8 – Représentation de circuit équivalent pour la méthode ECSM	358
Figure G.9 – Représentation de circuit simplifiée pour la Figure G.8	359
Figure G.10 – Circuit pour antenne fictive avec simulation des effets de la hauteur d'antenne effective h_e	362
Figure H.1 – Schéma de montage de la méthode de la bobine d'Helmholtz.....	363
Figure H.2 – Variation de H/I dans le plan central entre les bobines	365
Figure I.1 – Montage d'essai classique pour le mesurage du diagramme de rayonnement d'une antenne.....	368
Figure I.2 – Définition de d_1	369
Figure I.3 – Définition de d_2	369
Figure I.4 – Avec une distance d_1 fixe, d_2 est augmentée par pas de x cm	370
Figure I.5 – Avec une distance d_2 fixe, d_1 est augmentée par pas de x cm	371
Figure I.6 – Correction d'angle et de distance	372
Tableau 1 – Synthèse des méthodes d'étalonnage au-delà d'une fréquence de 30 MHz pour F_a	204
Tableau 2 – Méthodes d'étalonnage au-delà d'une fréquence de 30 MHz par numéro de paragraphe	205
Tableau 3 – Pas de fréquences pour l'étalonnage des antennes monopôles	206
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)	213
Tableau 5 – Exemple de budget d'incertitude de mesure pour F_{aH} d'une antenne boucle mesuré dans une cellule TEM	217

Tableau 6 – Pas de fréquence pour l'étalonnage d'antennes à large bande	218
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)	230
Tableau 8 – Paramètres utilisés pour déterminer les centres de phase des segments A et B	247
Tableau 9 – Exemple de budget d'incertitude de mesure de F_a pour une antenne biconique à polarisation horizontale, mesuré par la méthode SSM	258
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	261
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	262
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	265
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	268
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	273
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	291
Tableau A.2 – Caractéristiques types d'un adaptateur de type N	291
Tableau B.1 – Montage d'antennes pour la méthode SAM pour des antennes doublets accordées avec calcul de la moyenne de $F_a(h,H)$	297
Tableau B.2 – Montage d'antennes pour la méthode SAM pour des antennes biconiques avec calcul de la moyenne de $F_a(h,H)$	297
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	298
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	299
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	301
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	302
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	303
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	304
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	305

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	323
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	324
Tableau C.3 – Dimensions mécaniques pour l'antenne biconique [52].....	325
Tableau G.1 – Exemple de budget d'incertitude de mesure du F_a d'une antenne monopôle au moyen de la SAM.....	353
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	366
Tableau I.1 – Correction de l'angle α pour une distance $d_1 = 3$ m (voir Figure I.6)	372
Tableau I.2 – Exemple de budget d'incertitude de mesure du diagramme de rayonnement d'une antenne au-dessus de 1 GHz	374

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.

DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ

Cette version consolidée n'est pas une Norme IEC officielle, elle a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Seules les versions courantes de cette norme et de son(ses) amendement(s) doivent être considérées comme les documents officiels.

Cette version consolidée de la CISPR 16-1-6 porte le numéro d'édition 1.1. Elle comprend la première édition (2014-12) [documents 65C/583/FDIS et 65C/589/RVD] et son amendement 1 (2017-01) [documents 65C/684/FDIS et 65C/691/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

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

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*.

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 son amendement 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*

FINAL VERSION

VERSION FINALE



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

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.....	45
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.....	85
Annex A (informative) Background information and rationale for the methods of antenna calibration		86
A.1	Rationale for the need for several calibration methods and for use of a ground-plane site.....	86
A.2	Special measures for calibration of omnidirectional antennas.....	87
A.2.1	General	87
A.2.2	Difficulties with calibration of omnidirectional antennas.....	88
A.2.3	Minimizing reflections from antenna supports and radiation from cables	88
A.2.4	Field taper and monocone set-up for VP biconical calibration	89
A.2.5	Use of HP or VP in a FAR.....	90
A.2.6	Substitution where the STA is the same model as the AUC.....	90
A.3	Calibrations using broadband calculable dipole antennas	90
A.3.1	Disadvantages of tuned dipole antennas.....	90
A.3.2	Advantages of broadband calculable dipole antennas.....	91
A.3.3	Disadvantages of calculable dipole antennas.....	91
A.4	Rationale for F_a and biconical/LPDA antenna cross-over frequency.....	91
A.4.1	Rationale for F_a	91
A.4.2	Cross-over frequency from biconical to LPDA antennas.....	92
A.4.3	Biconical element designs	92
A.5	Sources of increased uncertainty in measurement of F_a by the SSM.....	93
A.6	Calibration of LPDA antennas using smaller separation distances.....	95
A.6.1	Calibration of LPDA antennas using smaller separation distances	95
A.6.2	Correction of electric field strength to account for phase centre of LPDA antennas	96
A.7	Cross-polar discrimination of LPDA antennas	97
A.8	Tips for measurement instrumentation	98
A.8.1	Signal-to-noise ratio	98
A.8.2	Connector pin depth	100
A.8.3	Effect of added adaptor in a “cable-through” measurement	100
A.8.4	Compression level	101
A.8.5	Source power slope function above 6 GHz.....	101
A.8.6	Frequency increment for detection of resonances	101
A.8.7	Return loss or VSWR.....	101
A.9	Uncertainty considerations	102
A.9.1	General	102
A.9.2	Achievable uncertainties for F_a	102
A.9.3	Uncertainties of dipoles above a ground plane.....	102
A.9.4	Verification of uncertainty by comparison of methods	103
Annex B (normative) Calibration of biconical antennas and tuned dipole antennas above a ground plane using the TAM and the SAM		104

B.1	General.....	104
B.2	Characteristics of biconical antennas and dipole antennas.....	104
B.3	Frequencies	104
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	105
B.4.1	General	105
B.4.2	Measurement of $F_a(h,H)$ by the SAM and derivation of F_a	105
B.4.3	Measurement of $F_a(h,H)$ by the TAM and derivation of F_a	108
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.....	110
B.5.1	General	110
B.5.2	Measurement of F_a by the SAM.....	110
B.5.3	Measurement of F_a by the TAM	112
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	114
C.1	General.....	114
C.2	Antenna factor and antenna gain	114
C.2.1	Relationship between AF and gain for antennas in a free-space environment.....	114
C.2.2	Relationship between AF and gain for monopole antennas on a large ground plane	116
C.3	Equations for the insertion loss between antennas.....	116
C.3.1	Site insertion loss measured at a free-space calibration site	116
C.3.2	Site insertion loss measured at a metal ground-plane site	118
C.3.3	Site attenuation measured at a metal ground-plane site.....	120
C.4	Uncertainty contribution caused by near-field effects	121
C.5	Uncertainty contribution due to the antenna proximity coupling	122
C.6	Uncertainty contribution due to the ground plane reflection	124
C.6.1	Coupling to image in ground plane.....	124
C.6.2	Correction factors $\Delta F_{a,SSM}$ for F_a of biconical antenna	129
C.7	Uncertainty contribution due to the antenna radiation pattern.....	130
C.7.1	General	130
C.7.2	Biconical antennas	131
C.7.3	LPDA antennas.....	131
C.7.4	Hybrid antennas	132
C.7.5	Horn and LPDA antennas from 1 GHz to 18 GHz	133
Annex D (informative)	Background information and rationale for calibration of antennas at frequencies above 1 GHz.....	136
D.1	Mismatch uncertainty	136
D.2	Mutual coupling between antennas and chamber reflection	136
D.3	Antenna separation distance and phase centre	136
D.4	Example gain of DRH at 1 m distance	138
Annex E (informative)	Notes for measurement uncertainty budgets.....	140
E.1	General.....	140
E.2	Notes for measurement uncertainty budgets	140
Annex F (informative)	Mismatch uncertainties from a two-port device connected between a transmit port and a receive port	150
Annex G (informative)	Verification method for calibration of monopole antennas and uncertainty analysis of the ECSM.....	152

G.1	Verification method for calibration of monopole antennas by the plane wave method from 5 MHz to 30 MHz	152
G.1.1	Calibration procedure	152
G.1.2	Uncertainty evaluation for the calibration of monopole antennas by the plane wave method	153
G.2	Uncertainty analysis of the ECSM	153
G.2.1	Effect of rod length longer than $\lambda/8$	153
G.2.2	Effect on AF of monopole antenna mounted on a tripod	155
G.2.3	Monopole antenna receiving an electric field	156
G.2.4	Equivalent capacitance substitution method (ECSM)	156
G.2.5	Uncertainties associated with the ECSM	158
G.2.6	An alternative to the dummy antenna, for which $F_{ac} = V_D - V_L$	160
Annex H (informative)	Helmholtz coil method for calibration of loop antennas up to 150 kHz	161
H.1	Measurement procedure	161
H.2	Uncertainties	163
Annex I (normative)	Antenna pattern measurement method in the frequency range above 1 GHz, with measurement uncertainty budget	165
I.1	General	165
I.2	Test set-up	165
I.3	Test method	167
I.4	Test report	170
I.5	Uncertainty budget	170
Bibliography		172
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	83
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	94
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.....	95
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	95
Figure A.4 – Separation distance relative to the phase centre of an LPDA antenna.....	97
Figure A.5 – Statistical properties of multiple S_{21} sweeps (minimum, maximum, and mean value).....	99
Figure A.6 – Standard deviation of S_{21}	99
Figure A.7 – Normalized standard deviation of S_{21}	100
Figure C.1 – Simplified model of a receive antenna	115
Figure C.2 – Insertion loss measurement for antenna calibration at a free-space calibration site	117
Figure C.3 – Insertion loss measurement for antenna calibration at a calibration site with a metal ground plane	119
Figure C.4 – Comparison of field strength given by Equation (C.17) versus in near-field region given by Equation (C.31).....	122
Figure C.5 – Theoretical calculations of proximity coupling effects on the AF from the TAM (free-space conditions)	124
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)	126
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.....	127
Figure C.8 – AF of Figure C.7 normalized to free-space AF	127
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.....	128
Figure C.10 – Diagram of one triangular section of a biconical antenna element.....	130
Figure C.11 – Examples of radiation patterns (relative realized gain) of two example biconical antennas compared to ideal half-wave tuned dipole antenna.....	131
Figure C.12 – Examples of radiation patterns (relative realized gain) of three example LPDA antennas, compared to ideal half-wave tuned dipole antenna.....	132
Figure C.13 – Examples of radiation patterns (relative realized gain) of an example hybrid antenna, compared to ideal half-wave tuned dipole antenna.....	133
Figure C.14 – Example radiation patterns for classical DRH antenna	134
Figure C.15 – Example radiation patterns for novel DRH antenna	134
Figure C.16 – Example radiation patterns for classical LPDA antenna	135
Figure C.17 – Example radiation patterns for V-type LPDA antenna.....	135
Figure D.1 – Relative phase centres of a DRH antenna and an LPDA antenna	137
Figure D.2 – A transmission system between a horn antenna and an LPDA antenna	138
Figure D.3 – Measured AFs of a DRH antenna at 4,5 GHz.....	138
Figure D.4 – Graph showing the realized gain at 1 m for a DRH antenna	139
Figure E.1 – Comparison of measured and predicted SIL for calculable dipole antenna – 60 MHz element.....	143

Figure E.2 – Comparison of measured and predicted SIL for calculable dipole antenna – 180 MHz element	144
Figure E.3 – Reflectivity of chamber absorbing materials	148
Figure E.4 – Laser alignment system	148
Figure F.1 – Flow graph representation of a two-port device between a transmit port and a receiver port.....	150
Figure F.2 – Signal flow reduction.....	150
Figure G.1 – Diagram showing how the brass rod connects to the type N male bulkhead connector.....	153
Figure G.2 – Graph of the magnitude of the $\tan(\dots)$ ratio term in Equation (4) of 5.1.2.2	154
Figure G.3 – Graphical presentation of Equation (4) of 5.1.2.2 self-capacitance C_a of a 1 m monopole	154
Figure G.4 – Graphical presentation of Equation (5) of 5.1.2.2 height correction factor L_h	155
Figure G.5 – Calibration set-up consisting of a biconical and a loop antenna, and an elevated monopole antenna with vertical feed wires.....	156
Figure G.6 – Equivalent circuit representation for a monopole antenna system	156
Figure G.7 – Monopole antenna calibration using the ECSM	157
Figure G.8 – Equivalent circuit representation for the ECSM.....	157
Figure G.9 – Simplified circuit representation for Figure G.8	158
Figure G.10 – Circuit for dummy antenna simulating the effects of the antenna effective height, h_e	160
Figure H.1 – Diagram of Helmholtz coil method set-up.....	161
Figure H.2 – Variation of H/I across the central plane between the coils	163
Figure I.1 – Typical set-up for antenna pattern measurement.....	166
Figure I.2 – Definition of d_1	166
Figure I.3 – Definition of d_2	167
Figure I.4 – With d_1 held constant, d_2 is increased in x cm steps	168
Figure I.5 – With d_2 held constant, d_1 is increased in x cm steps	168
Figure I.6 – Distance and angle correction	170
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	100
Table A.2 – Typical type N adaptor characteristics.....	101
Table B.1 – Antenna set-up for the SAM for tuned dipole antennas with averaging of $F_a(h,H)$	105
Table B.2 – Antenna set-up for the SAM for biconical antennas with averaging of $F_a(h,H)$	106
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	106
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	108
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.....	109
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	109
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	111
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	112
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	113
Table C.1 – Examples of the antenna height range h for horizontal polarization for an error $\leq 0,3$ dB	128
Table C.2 – Correction factors $\Delta F_{a,SSM}$ to convert AF measured by SSM to F_a	129
Table C.3 – Mechanical dimensions for the biconical antenna [52].....	130
Table G.1 – Example measurement uncertainty budget for F_a of a monopole antenna measured by the SAM.....	153
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	164
Table I.1 – Correction of angle α for a distance of $d_1 = 3$ m (refer to Figure I.6).....	169
Table I.2 – Example measurement uncertainty budget for antenna pattern measurement above 1 GHz.....	171

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.

DISCLAIMER

This Consolidated version is not an official IEC Standard and has been prepared for user convenience. Only the current versions of the standard and its amendment(s) are to be considered the official documents.

This Consolidated version of CISPR 16-1-6 bears the edition number 1.1. It consists of the first edition (2014-12) [documents CISPR/A/1087/FDIS and CISPR/A/1098/RVD] and its amendment 1 (2017-01) [documents CISPR/A/1195/FDIS and CISPR/A/1204/RVD]. The technical content is identical to the base edition and its amendment.

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

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*.

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 amendment 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	188
1 Domaine d'application	190
2 Références normatives	190
3 Termes, définitions et abréviations	191
3.1 Termes et définitions	191
3.1.1 Termes relatifs aux antennes	191
3.1.2 Termes relatifs au facteur d'antenne	195
3.1.3 Termes relatifs à l'emplacement de mesure	196
3.1.4 Autres termes	197
3.2 Abréviations	198
4 Concepts fondamentaux	199
4.1 Généralités	199
4.2 Concept de facteur d'antenne	199
4.3 Méthodes d'étalonnage pour des fréquences de 30 MHz et plus	200
4.3.1 Généralités	200
4.3.2 Distances de séparation minimales des antennes	200
4.3.3 Considérations générales pour la méthode TAM	201
4.3.4 Considérations générales pour la méthode SSM	201
4.3.5 Considérations générales pour la méthode SAM	201
4.4 Incertitudes de mesure pour les résultats des mesurages d'étalonnage des antennes	202
4.5 Synthèse des méthodes de mesure permettant d'obtenir l'AF	202
5 Méthodes d'étalonnage pour la gamme de fréquences comprise entre 9 kHz et 30 MHz	206
5.1 Étalonnage des antennes monopôles	206
5.1.1 Généralités	206
5.1.2 Étalonnage par la méthode ECSM	207
5.2 Étalonnage des antennes boucles	213
5.2.1 Généralités	213
5.2.2 Méthode des cellules TEM (Crawford)	214
6 Fréquences, matériel et vérifications de fonctionnement pour des étalonnages à des fréquences supérieures ou égales à 30 MHz	218
6.1 Fréquences d'étalonnage	218
6.1.1 Gammes et pas de fréquences d'étalonnage	218
6.1.2 Fréquence de transition pour les antennes hybrides	219
6.2 Exigences concernant les instruments de mesure pour les étalonnages d'antennes	220
6.2.1 Types de matériel	220
6.2.2 Désadaptation	221
6.2.3 Dynamique et reproductibilité de mesurage de SIL	223
6.2.4 Rapport signal/bruit	223
6.2.5 Mâts et câbles d'antennes	224
6.3 Vérifications de fonctionnement d'une AUC	224
6.3.1 Généralités	224
6.3.2 Équilibre d'une antenne	225
6.3.3 Caractéristique de polarisation croisée d'une antenne	225

6.3.4	Diagrammes de rayonnement d'une antenne	226
7	Paramètres et équations de base communs aux méthodes d'étalonnage d'antennes pour des fréquences au-delà de 30 MHz.....	226
7.1	Synthèse des méthodes de mesure permettant d'obtenir l'AF.....	226
7.2	Mesurages de la perte d'insertion de l'emplacement	227
7.2.1	Généralités	227
7.2.2	Méthode de mesure de SIL et de SA.....	227
7.2.3	Composantes d'incertitude communes d'un mesurage de SIL	229
7.3	Équations de base pour le calcul de l'AF à partir des mesurages de SIL et de SA.....	230
7.3.1	Facteur d'antenne issu des mesurages de SIL	230
7.3.2	Relation entre AF et SIL pour un emplacement d'étalonnage en espace libre	231
7.3.3	Relation entre AF et SIL pour un emplacement d'étalonnage avec un plan de masse de référence métallique.....	231
7.4	Équations pour le facteur AF et les incertitudes de mesure avec les méthodes TAM, SSM et SAM	233
7.4.1	Méthode TAM	233
7.4.2	SSM	238
7.4.3	Méthode SAM	241
7.5	Paramètres de spécification du centre de phase et de la position des antennes.....	243
7.5.1	Généralités	243
7.5.2	Position de référence et centres de phase des antennes LPDA et hybrides	244
7.5.3	Centres de phase des antennes cornets	247
8	Détails pour les méthodes d'étalonnage TAM, SAM et SSM pour des fréquences de 30 MHz et plus.....	249
8.1	Généralités	249
8.2	Considérations concernant les étalonnages F_a à l'aide de la méthode TAM.....	249
8.2.1	Considérations générales	249
8.2.2	Considérations concernant l'emplacement d'étalonnage et le montage d'antennes pour une utilisation avec la méthode TAM.....	250
8.2.3	Paramètres d'antennes pour un environnement en espace libre ou un emplacement sur plan de masse de référence	251
8.2.4	Validation de la méthode d'étalonnage	252
8.3	Considérations concernant les étalonnages F_a à l'aide de la méthode SAM.....	253
8.3.1	Considérations générales et emplacement d'étalonnage pour une utilisation de la méthode SAM	253
8.3.2	Méthodes d'étalonnage et montages d'antennes pour le facteur F_a par la méthode SAM	254
8.3.3	Paramètres de la STA.....	255
8.4	Étalonnages SSM avec un emplacement sur plan de masse de référence, à des fréquences comprises entre 30 MHz et 1 GHz	256
8.4.1	Considérations générales et emplacement d'étalonnage pour la méthode SSM.....	256
8.4.2	Méthode d'étalonnage pour la SSM	256
8.4.3	Calcul de F_a	257
8.4.4	Incertitudes du facteur F_a obtenu avec la méthode SSM.....	257
9	Méthodes d'étalonnage pour des types d'antenne spécifiques pour des fréquences de 30 MHz et plus.....	258
9.1	Généralités	258

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	258
9.2.1	Considérations générales et exigences concernant l'emplacement d'étalonnage	258
9.2.2	Méthode d'étalonnage et montage d'antennes pour une utilisation avec la méthode SAM	259
9.2.3	Incertitudes de F_a déterminées par la méthode SAM	260
9.2.4	Montage d'antennes à utiliser avec la méthode TAM (variante).....	262
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	263
9.3.1	Considérations générales et exigences concernant l'emplacement d'étalonnage	263
9.3.2	Méthode d'étalonnage et montage d'antennes	263
9.3.3	Incertitudes de F_a déterminées par la méthode SAM	264
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	266
9.4.1	Considérations générales et emplacement d'étalonnage pour un environnement en espace libre	266
9.4.2	Étalonnages utilisant la méthode TAM	267
9.4.3	Montage d'antennes à utiliser avec la méthode SAM	269
9.4.4	Autre montage d'antennes pour un emplacement comportant un matériau absorbant sur le sol.....	269
9.5	Étalonnage des antennes cornets et LPDA dans une FAR, pour des fréquences comprises entre 1 GHz et 18 GHz.....	270
9.5.1	Étalonnage utilisant la méthode TAM	270
9.5.2	Étalonnage et montage d'antennes pour la méthode SAM	273
Annexe A (informative) Historique et justifications des méthodes d'étalonnage des antennes.....		274
A.1	Justifications de la nécessité de plusieurs méthodes d'étalonnage et de l'utilisation d'un emplacement sur plan de masse de référence	274
A.2	Mesures spéciales propres à l'étalonnage des antennes omnidirectionnelles	276
A.2.1	Généralités	276
A.2.2	Difficultés d'étalonnage des antennes omnidirectionnelles.....	276
A.2.3	Réduction au minimum des réflexions des supports d'antennes et du rayonnement des câbles	276
A.2.4	Conicité de champ et montage d'antennes monocônes pour l'étalonnage des antennes biconiques à polarisation verticale.....	278
A.2.5	Utilisation de la HP ou de la VP dans une FAR	278
A.2.6	Situation de remplacement où les modèles de STA et d'AUC sont identiques	279
A.3	Étalonnages avec des antennes doublets calculables à large bande	279
A.3.1	Inconvénients des antennes doublets accordées	279
A.3.2	Avantages des antennes doublets calculables à large bande	280
A.3.3	Inconvénients des antennes doublets calculables	280
A.4	Justifications pour le facteur F_a et fréquence de transition entre les antennes biconiques et LPDA	280
A.4.1	Justifications pour le facteur F_a	280
A.4.2	Fréquence de transition entre les antennes biconiques et les antennes LPDA.....	281
A.4.3	Types d'éléments biconiques	282

A.5	Sources d'incertitude de mesure plus grande du facteur F_a avec la méthode SSM.....	282
A.6	Étalonnage des antennes LPDA en utilisant des distances de séparation réduites	286
A.6.1	Étalonnage des antennes LPDA en utilisant des distances de séparation réduites	286
A.6.2	Correction de l'intensité de champ électrique afin de tenir compte du centre de phase des antennes LPDA	286
A.7	Discrimination de polarisation croisée des antennes LPDA	287
A.8	Conseils pratiques pour l'instrumentation de mesure.....	288
A.8.1	Rapport signal/bruit	288
A.8.2	Profondeur des broches de connecteurs	291
A.8.3	Influence de l'adaptateur ajouté dans un mesurage "sur câbles traversants"	291
A.8.4	Niveau de compression	291
A.8.5	Fonction de pente de la puissance source au-delà d'une fréquence de 6 GHz.....	292
A.8.6	Pas de fréquence pour la détection des résonances	292
A.8.7	Affaiblissement de réflexion ou ROS.....	292
A.9	Considérations relatives à l'incertitude	293
A.9.1	Généralités	293
A.9.2	Incertainces réalisables pour le facteur F_a	293
A.9.3	Incertainces des doublets au-dessus d'un plan de masse de référence	293
A.9.4	Vérification de l'incertitude par comparaison des méthodes	294
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.....		295
B.1	Généralités	295
B.2	Caractéristiques des antennes biconiques et des antennes doublets	295
B.3	Fréquences.....	296
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.....	296
B.4.1	Généralités	296
B.4.2	Mesurage de $F_a(h,H)$ par la méthode SAM et déduction de F_a	296
B.4.3	Mesurage de $F_a(h,H)$ par la méthode TAM et déduction de F_a	300
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	302
B.5.1	Généralités	302
B.5.2	Mesurage de F_a par la méthode SAM	302
B.5.3	Mesurage de F_a par la méthode TAM	304
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		306
C.1	Généralités	306
C.2	Facteur d'antenne et gain d'antenne	306
C.2.1	Relation entre l'AF et le gain pour les antennes dans un environnement en espace libre	306
C.2.2	Relation entre l'AF et le gain pour les antennes monopôles sur un plan de masse de référence de grande surface	308

C.3	Équations pour la perte d'insertion entre les antennes	309
C.3.1	Perte d'insertion d'emplacement mesurée à un emplacement d'étalonnage en espace libre	309
C.3.2	Perte d'insertion d'emplacement mesurée à un emplacement sur plan de masse de référence métallique	311
C.3.3	Affaiblissement de l'emplacement mesuré avec un emplacement sur plan de masse de référence métallique	313
C.4	Contribution à l'incertitude due aux effets de champ proche	314
C.5	Contribution à l'incertitude due au couplage de proximité des antennes	315
C.6	Contribution à l'incertitude due à la réflexion sur le plan de masse de référence	317
C.6.1	Couplage avec la représentation sur le plan de masse de référence	317
C.6.2	Facteurs de correction $\Delta F_{a,SSM}$ pour le facteur F_a d'une antenne biconique	323
C.7	Contribution à l'incertitude due au diagramme de rayonnement des antennes	325
C.7.1	Généralités	325
C.7.2	Antennes biconiques	326
C.7.3	Antennes LPDA	327
C.7.4	Antennes hybrides	327
C.7.5	Antennes cornets et LPDA pour des fréquences comprises entre 1 GHz et 18 GHz	328
Annexe D (informative) Historique et justifications pour l'étalonnage des antennes à des fréquences au-delà de 1 GHz		333
D.1	Incertitude de désadaptation	333
D.2	Couplage mutuel entre les antennes et réflexion dans la chambre	333
D.3	Distance de séparation des antennes et centre de phase	334
D.4	Exemple de gain d'une antenne DRH à une distance de 1 m	336
Annexe E (informative) Notes relatives aux budgets d'incertitude de mesure		338
E.1	Généralités	338
E.2	Notes pour les budgets d'incertitude de mesure	338
Annexe F (informative) Incertitudes de désadaptation dues à un dispositif à deux ports connecté entre un port d'émission et un port de réception		349
Annexe G (informative) Méthode de vérification pour l'étalonnage des antennes monopôles et analyse d'incertitude de la méthode ECSM		351
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	351
G.1.1	Méthode d'étalonnage	351
G.1.2	Évaluation d'incertitude pour l'étalonnage d'antennes monopôles par la méthode des ondes planes	352
G.2	Analyse d'incertitude de l'ECSM	353
G.2.1	Effet d'une longueur de fouet de plus de $\lambda/8$	353
G.2.2	Effet sur le facteur AF d'une antenne monopôle montée sur un trépied	355
G.2.3	Antenne monopôle recevant un champ électrique	356
G.2.4	Méthode ECSM	357
G.2.5	Incertitudes associées à la méthode ECSM	359
G.2.6	Variante à l'antenne fictive pour laquelle $F_{ac} = V_D - V_L$	361
Annexe H (informative) Méthode de la bobine d'Helmholtz pour l'étalonnage d'antennes boucles jusqu'à une fréquence de 150 kHz		363
H.1	Méthode de mesure	363
H.2	Incertitudes	366

Annexe I (normative) Méthode de mesure du diagramme de rayonnement d'une antenne dans la plage de fréquences supérieure à 1 GHz, avec budget de l'incertitude de mesure.....	367
I.1 Généralités	367
I.2 Montage d'essai.....	368
I.3 Méthode d'essai.....	370
I.4 Rapport d'essai.....	373
I.5 Budget d'incertitude	373
Bibliographie.....	375
 Figure 1 – Montage pour la détermination du facteur AF au moyen d'un analyseur de réseau	209
Figure 2 – Montage pour la détermination du facteur AF au moyen d'un récepteur de mesure et d'un générateur de signaux	210
Figure 3 – Exemple de montage d'un condensateur dans l'antenne fictive	211
Figure 4 – Schéma de principe d'un montage à cellules TEM pour antennes boucles passives	216
Figure 5 – Schéma de principe d'un montage à cellules TEM pour antennes boucles actives	217
Figure 6 – Exemple de pointe résonnante due à des connexions d'éléments biconiques inadaptées, avec pas de 2 MHz	219
Figure 7 – Montage d'antennes pour le mesurage de SIL à un emplacement d'étalonnage en espace libre	228
Figure 8 – Montage d'antennes pour le mesurage de SIL et de SA à un emplacement d'étalonnage sur plan de masse de référence	229
Figure 9 – Montage d'antennes pour la méthode TAM à un emplacement d'étalonnage en espace libre	234
Figure 10 – Montage d'antennes pour la méthode TAM sur un emplacement d'étalonnage avec plan de masse de référence métallique.....	237
Figure 11 – Montage d'antennes pour la méthode SSM	239
Figure 12 – Montage d'antennes pour la méthode SAM sur emplacement d'étalonnage avec un plan de masse de référence métallique.....	242
Figure 13 – Distance de séparation par rapport au centre de phase d'une antenne LPDA.....	245
Figure 14 – Antenne LPDA à géométrie conique courbe	247
Figure 15 – Distance de séparation par rapport au centre de phase des antennes cornets (voir détails en [49])	248
Figure 16 – Représentation schématique d'une antenne DRH illustrant les emplacements relatifs du point de champ et du centre de phase de l'antenne.....	249
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	264
Figure 18 – Montage d'essai pour l'étalonnage des antennes LPDA et hybrides positionnées à une hauteur élevée.....	267
Figure 19 – Montage pour antennes LPDA au-dessus d'un matériau absorbant	269
Figure 20 – Montage pour les mesurages d'émission au moyen d'un analyseur de réseau	271
 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	284

Figure A.2 – Facteur F_a d'une antenne biconique avec un symétriseur de 200 Ω , mesuré par la méthode VP de 9.3 et par la méthode SSM de 8.4 sans correction	285
Figure A.3 – Facteur F_a d'une antenne biconique avec un symétriseur de 200 Ω , mesuré par la méthode VP de 9.3 et par la méthode SSM de 8.4 avec correction	285
Figure A.4 – Distance de séparation par rapport au centre de phase d'une antenne LPDA	287
Figure A.5 – Propriétés statistiques de balayages S_{21} multiples (minimum, maximum et valeur moyenne)	289
Figure A.6 – Écart-type de S_{21}	290
Figure A.7 – Écart-type normalisé de S_{21}	290
Figure C.1 – Modèle simplifié d'une antenne de réception.....	307
Figure C.2 – Mesurage de la perte d'insertion pour l'étalonnage d'antennes à un emplacement d'étalonnage en espace libre.....	309
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	311
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)	315
Figure C.5 – Calculs théoriques des effets du couplage de proximité sur le facteur AF obtenu par la méthode TAM (conditions en espace libre)	317
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)	319
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	320
Figure C.8 – AF de la Figure C.7 normalisé à l'AF en espace libre.....	321
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.....	322
Figure C.10 – Diagramme d'une section triangulaire d'élément d'antenne biconique	325
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	326
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	327
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	328
Figure C.14 – Exemple de diagrammes de rayonnement pour une antenne DRH classique	329
Figure C.15 – Exemple de diagrammes de rayonnement pour une antenne DRH nouvelle	330
Figure C.16 – Exemple de diagrammes de rayonnement pour une antenne LPDA classique	331
Figure C.17 – Exemple de diagrammes de rayonnement pour une antenne LPDA de type V	332
Figure D.1 – Centres de phase relatifs d'une antenne DRH et d'une antenne LPDA.....	334
Figure D.2 – Système de transmission entre une antenne cornet et une antenne LPDA	335

Figure D.3 – Facteurs AF mesurés d'une antenne DRH à une fréquence de 4,5 GHz.....	336
Figure D.4 – Graphique illustrant le gain réalisé à une distance de 1 m pour une antenne DRH	337
Figure E.1 – Comparaison de SIL mesurée et de SIL prévue pour une antenne doublet calculable – élément à 60 MHz	341
Figure E.2 – Comparaison de SIL mesurée et de SIL prévue pour une antenne doublet calculable – élément à 180 MHz	342
Figure E.3 – Réflectivité des matériaux absorbants de la chambre	346
Figure E.4 – Système d'alignement laser	347
Figure F.1 – Schéma de fluence d'un dispositif à deux ports entre un port d'émission et un port de réception	349
Figure F.2 – Réduction de la fluence de signal.....	349
Figure G.1 – Diagramme illustrant la méthode de connexion du fouet en laiton au connecteur de cloison de type N mâle.....	352
Figure G.2 – Graphique de l'amplitude du terme du rapport $\tan(\dots)$ dans l'Équation (4) de 5.1.2.2	354
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	354
Figure G.4 – Représentation graphique de l'Équation (5) de 5.1.2.2 facteur de correction de la hauteur L_h	355
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	356
Figure G.6 – Représentation de circuit équivalent pour un système d'antennes monopôles	357
Figure G.7 – Etalonnage de l'antenne monopôle à l'aide de la méthode ECSM	358
Figure G.8 – Représentation de circuit équivalent pour la méthode ECSM	358
Figure G.9 – Représentation de circuit simplifiée pour la Figure G.8	359
Figure G.10 – Circuit pour antenne fictive avec simulation des effets de la hauteur d'antenne effective h_e	362
Figure H.1 – Schéma de montage de la méthode de la bobine d'Helmholtz.....	363
Figure H.2 – Variation de H/I dans le plan central entre les bobines	365
Figure I.1 – Montage d'essai classique pour le mesurage du diagramme de rayonnement d'une antenne.....	368
Figure I.2 – Définition de d_1	369
Figure I.3 – Définition de d_2	369
Figure I.4 – Avec une distance d_1 fixe, d_2 est augmentée par pas de x cm	370
Figure I.5 – Avec une distance d_2 fixe, d_1 est augmentée par pas de x cm	371
Figure I.6 – Correction d'angle et de distance	372
Tableau 1 – Synthèse des méthodes d'étalonnage au-delà d'une fréquence de 30 MHz pour F_a	204
Tableau 2 – Méthodes d'étalonnage au-delà d'une fréquence de 30 MHz par numéro de paragraphe	205
Tableau 3 – Pas de fréquences pour l'étalonnage des antennes monopôles	206
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)	213
Tableau 5 – Exemple de budget d'incertitude de mesure pour F_{aH} d'une antenne boucle mesuré dans une cellule TEM	217

Tableau 6 – Pas de fréquence pour l'étalonnage d'antennes à large bande	218
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)	230
Tableau 8 – Paramètres utilisés pour déterminer les centres de phase des segments A et B	247
Tableau 9 – Exemple de budget d'incertitude de mesure de F_a pour une antenne biconique à polarisation horizontale, mesuré par la méthode SSM	258
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	261
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	262
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	265
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	268
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	273
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	291
Tableau A.2 – Caractéristiques types d'un adaptateur de type N	291
Tableau B.1 – Montage d'antennes pour la méthode SAM pour des antennes doublets accordées avec calcul de la moyenne de $F_a(h,H)$	297
Tableau B.2 – Montage d'antennes pour la méthode SAM pour des antennes biconiques avec calcul de la moyenne de $F_a(h,H)$	297
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	298
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	299
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	301
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	302
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	303
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	304
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	305

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	323
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	324
Tableau C.3 – Dimensions mécaniques pour l'antenne biconique [52].....	325
Tableau G.1 – Exemple de budget d'incertitude de mesure du F_a d'une antenne monopôle au moyen de la SAM.....	353
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	366
Tableau I.1 – Correction de l'angle α pour une distance $d_1 = 3$ m (voir Figure I.6)	372
Tableau I.2 – Exemple de budget d'incertitude de mesure du diagramme de rayonnement d'une antenne au-dessus de 1 GHz	374

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.

DÉGAGEMENT DE RESPONSABILITÉ

Cette version consolidée n'est pas une Norme IEC officielle, elle a été préparée par commodité pour l'utilisateur. Seules les versions courantes de cette norme et de son(ses) amendement(s) doivent être considérées comme les documents officiels.

Cette version consolidée de la CISPR 16-1-6 porte le numéro d'édition 1.1. Elle comprend la première édition (2014-12) [documents 65C/583/FDIS et 65C/589/RVD] et son amendement 1 (2017-01) [documents 65C/684/FDIS et 65C/691/RVD]. Le contenu technique est identique à celui de l'édition de base et à son amendement.

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

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*.

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 son amendement 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*

