

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 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity – Conducted disturbance measurements

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

Partie 2-1: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesures des perturbations conduites

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

ICS 33.100.10, 33.100.20

ISBN 978-2-8322-4559-0

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 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity – Conducted disturbance measurements

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

Partie 2-1: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesures des perturbations conduites

CONTENTS

FOREWORD.....	8
1 Scope.....	10
2 Normative references	10
3 Terms, definitions and abbreviations	11
3.1 Terms and definitions.....	11
3.2 Abbreviations.....	16
4 Types of disturbance to be measured	17
4.1 General.....	17
4.2 Types of disturbance.....	17
4.3 Detector functions.....	18
5 Connection of measuring equipment.....	18
5.1 General.....	18
5.2 Connection of ancillary equipment	18
5.3 Connections to RF reference ground.....	18
5.4 Connection between the EUT and the artificial mains network.....	20
6 General measurement requirements and conditions	21
6.1 General.....	21
6.2 Disturbance not produced by the equipment under test.....	21
6.2.1 General	21
6.2.2 Compliance testing	21
6.3 Measurement of continuous disturbance	21
6.3.1 Narrowband continuous disturbance	21
6.3.2 Broadband continuous disturbance	21
6.3.3 Use of spectrum analyzers and scanning receivers.....	22
6.4 EUT arrangement and measurement conditions	22
6.4.1 EUT arrangement	22
6.4.2 Normal load conditions	24
6.4.3 Duration of operation	24
6.4.4 Running-in/warm-up time.....	24
6.4.5 Supply.....	25
6.4.6 Mode of operation.....	25
6.4.7 Operation of multifunction equipment.....	25
6.4.8 Determination of EUT arrangement(s) that maximize(s) emissions	25
6.4.9 Recording of measurement results.....	25
6.5 Interpretation of measuring results.....	25
6.5.1 Continuous disturbance	25
6.5.2 Discontinuous disturbance	26
6.5.3 Measurement of the duration of disturbances.....	26
6.6 Measurement times and scan rates for continuous disturbance	26
6.6.1 General	26
6.6.2 Minimum measurement times	26
6.6.3 Scan rates for scanning receivers and spectrum analyzers	27
6.6.4 Scan times for stepping receivers	28
6.6.5 Strategies for obtaining a spectrum overview using the peak detector	29

6.6.6	Timing considerations using FFT-based instruments.....	32
7	Measurement of disturbances conducted along leads, 9 kHz to 30 MHz	34
7.1	General.....	34
7.2	Measuring equipment (receivers, etc.)	35
7.2.1	General	35
7.2.2	Use of detectors for conducted disturbance measurements	35
7.3	Ancillary measuring equipment	35
7.3.1	General	35
7.3.2	Artificial networks (ANs)	35
7.3.3	Voltage probes	36
7.3.4	Current probes	36
7.4	Equipment under test Configuration of the EUT and method of measurement.....	37
7.4.1	Arrangement of the EUT and its connection to the AN	37
7.4.2	Procedure for the measurement of unsymmetric disturbance voltages with V-networks (AMNs) ANs	43
7.4.3	Measurement of common mode voltages at differential mode signal terminals	52
7.4.4	Measurements using voltage probes	53
7.4.5	Measurement using a capacitive voltage probe (CVP)	56
7.4.6	Measurements using current probes	56
7.5	System test configuration for conducted emissions measurements	57
7.5.1	General approach to system measurements	57
7.5.2	System configuration	58
7.5.3	Measurements of interconnecting lines	60
7.5.4	Decoupling of system components.....	60
7.6	In situ measurements.....	61
7.6.1	General	61
7.6.2	Reference ground	61
7.6.3	Measurement with voltage probes.....	61
7.6.4	Selection of measuring points.....	62
8	Automated measurement of disturbances	62
8.1	Precautions for automating measurements.....	62
8.2	Generic measurement procedure	63
8.3	Prescan measurements	63
8.4	Data reduction	64
8.5	Disturbance maximization and final measurement.....	64
8.6	Post processing and reporting.....	64
8.7	Disturbance measurement strategies with FFT-based measuring instruments	65
9	Test set-up and measurement procedure using the CDNE in the frequency range 30 MHz to 300 MHz	65
9.1	General.....	65
9.2	Test set-up	65
9.3	Measurement procedure	67
Annex A (informative)	Guidelines for connection of electrical equipment to the artificial mains network	69
A.1	General.....	69
A.2	Classification of the possible cases.....	69
A.2.1	Well-shielded but poorly filtered EUT (Figures A.1 and A.2).....	69

A.2.2	Well-filtered but incompletely shielded EUT (Figures A.3 and A.4)	70
A.2.3	Practical general case	70
A.3	Method of grounding	72
A.4	Conditions of grounding	72
A.4.1	General	72
A.4.2	Classification of typical testing conditions	73
A.5	Connection of the AMN as a voltage probe	74
Annex B (informative)	Use of spectrum analyzers and scanning receivers	76
B.1	General.....	76
B.2	Overload	76
B.3	Linearity test	76
B.4	Selectivity	76
B.5	Normal response to pulses.....	76
B.6	Peak detection	76
B.7	Frequency scan rate	77
B.8	Signal interception	77
B.9	Average detection.....	77
B.10	Sensitivity	77
B.11	Amplitude accuracy.....	78
Annex C (informative)	Decision tree for use of detectors for conducted disturbance measurements	79
Annex D (informative)	Scan rates and measurement times for use with the average detector	81
D.1	General.....	81
D.2	Suppression of impulsive disturbance	81
D.2.1	General	81
D.2.2	Suppression of impulsive disturbance by digital averaging.....	82
D.3	Suppression of amplitude modulation.....	82
D.4	Measurement of slowly intermittent, unsteady or drifting narrowband disturbances	82
D.5	Recommended procedure for automated or semi-automated measurements	84
Annex E (informative)	Guidelines for the improvement of the test set-up with ANs	85
E.1	In situ verification of the AN impedance and voltage division factor.....	85
E.2	PE chokes and sheath current absorbers for the suppression of ground loops.....	88
Annex F (normative)	Determination of suitability of spectrum analyzers for compliance tests	90
Annex G (informative)	Basic guidance for measurements on telecommunications ports	91
G.1	Limits.....	91
G.2	Combination of current probe and capacitive voltage probe (CVP)	92
G.3	Basic ideas of the capacitive voltage probe.....	92
G.4	Combination of current limit and voltage limit	93
G.5	Adjusting the TCM impedance with ferrites	95
G.6	Ferrite specifications for use with methods of Annex H	95
Annex H (normative)	Specific guidance for conducted disturbance measurements on telecommunication ports	98
H.1	General.....	98

H.2	Characteristics of AANs	99
H.3	Characteristics of current probe	100
H.4	Characteristics of capacitive voltage probe	100
H.5	Procedures for common mode measurements	100
H.5.1	General	100
H.5.2	Measurement procedure using AANs	100
H.5.3	Measurement procedure using a 150 Ω load connected to the outside surface of the cable screen	101
H.5.4	Measurement procedure using a combination of current probe and capacitive voltage probe	102
H.5.5	Measurement of cable, ferrite and AE common mode impedance	103
Annex I (informative)	Examples of AANs and ANs for screened cables	105
Bibliography		114
Figure 1	– Example of a recommended test set-up with PE chokes with three AMNs and a sheath current absorber on the RF cable	20
Figure 2	– Measurement of a combination of a CW signal (“NB”) and an impulsive signal (“BB”) using multiple sweeps with maximum hold	29
Figure 3	– Example of a timing analysis	30
Figure 4	– A broadband spectrum measured with a stepped receiver	31
Figure 5	– Intermittent narrowband disturbances measured using fast short repetitive sweeps with maximum hold function to obtain an overview of the disturbance spectrum	32
Figure 6	– FFT scan in segments	33
Figure 7	– Frequency resolution enhanced by FFT-based measuring instrument	34
Figure 8	– Illustration of current I_{CCM}	37
Figure 9	– Test configuration: table-top equipment EUT for conducted disturbance measurements on LV AC mains power mains ports and on analogue/digital data ports	39
Figure 10	– Arrangement of EUT and AMN at 40 cm distance, with a) vertical RGP and b) horizontal RGP	40
Figure 11	– Optional example test configuration for an EUT with only a power cord attached	40
Figure 12	– Test configuration: floor-standing equipment (see 7.4.1 and 7.5.2.3)	42
Figure 13	– Example test configuration: floor-standing and table-top equipment (see 7.4.1 and 7.5.2.3)	43
Figure 14	– Schematic of disturbance voltage measurement configuration (see also 7.5.2.3)	46
Figure 15	– Equivalent circuit for measurement of unsymmetric disturbance voltage for safety-class I (grounded) EUT	47
Figure 16	– Equivalent circuit for measurement of unsymmetric disturbance voltage for safety-class II (ungrounded) EUT	49
Figure 17	– RC element for artificial hand	50
Figure 18	– Portable electric drill with artificial hand	50
Figure 19	– Portable electric saw with artificial hand	51
Figure 20	– Measuring example for voltage probes	
Figure 21	– Measurement arrangement for two terminal regulating controls	
Figure 22	– Generic process to help reduce measurement time	63
Figure 23	– Test set-up for measurement of an EUT with one cable	66

Figure 24 – Test set-up for measurement of an EUT with two cables connected adjacent surfaces of the EUT	67
Figure 25 – Test set-up for measurement of an EUT with two cables connected on the same surface of the EUT	67
Figure 26 – Test configuration: table-top EUT for conducted disturbance measurements on the LV AC mains and LV DC power port of a GCPC	41
Figure 27 – Typical arrangement for measurement of conducted disturbances at LV AC mains and DC power ports of floor standing equipment with an AMN and a Δ -AN used as voltage probes, and with a current probe	56
Figure A.1 – Basic schematic of well-shielded but poorly filtered EUT	69
Figure A.2 – Detail of well-shielded but poorly filtered EUT	70
Figure A.3 – Well-filtered but incompletely shielded EUT	70
Figure A.4 – Well-filtered but incompletely shielded EUT, with U_2 reduced to zero	70
Figure A.5 – Disturbance supply through shielded conductors	71
Figure A.6 – Disturbance supply through unshielded but filtered conductors	71
Figure A.7 – Disturbance supply through ordinary conductors	72
Figure A.8 – AMN configurations	74
Figure C.1 – Decision tree for optimizing speed of conducted disturbance measurements with peak, quasi-peak and average detectors	79
Figure D.1 – Weighting function of a 10 ms pulse for peak (“PK”) and average detections with (“CISPR AV”) and without (“AV”) peak reading; meter time constant 160 ms	83
Figure D.2 – Weighting functions of a 10 ms pulse for peak (“PK”) and average detections with (“CISPR AV”) and without (“AV”) peak reading; meter time constant 100 ms	83
Figure D.3 – Example of weighting functions (of a 1 Hz pulse) for peak (“PK”) and average detections as a function of pulse width; meter time constant 160 ms	84
Figure D.4 – Example of weighting functions (of a 1 Hz pulse) for peak (“PK”) and average detections as a function of pulse width; meter time constant 100 ms	84
Figure E.1 – Parallel resonance of enclosure capacitance and ground strap inductance	85
Figure E.2 – Connection of an AMN to RGP using a wide grounding sheet for low inductance grounding	86
Figure E.3 – Impedance measured with the arrangement of Figure E.2 both with reference to the front panel ground and to the grounding sheet	86
Figure E.4 – VDF in the configuration of Figure E.2 measured with reference to the front panel ground and to the grounding sheet	86
Figure E.5 – Arrangement showing the measurement grounding sheet (shown with dotted lines) when measuring the impedance with reference to RGP	87
Figure E.6 – Impedance measured with the arrangement of Figure E.5 with reference to the RGP	87
Figure E.7 – VDF measured with parallel resonances in the AMN grounding	87
Figure E.8 – Attenuation of a sheath current absorber measured in a 150 Ω test arrangement	88
Figure E.9 – Arrangement for the measurement of attenuation due to PE chokes and sheath current absorbers	89
Figure G.1 – Basic circuit for considering the limits with a defined TCM impedance of 150 Ω	94
Figure G.2 – Basic circuit for the measurement with unknown TCM impedance	94

Figure G.3 – Impedance layout of the components used in Figure H.2	96
Figure G.4 – Basic test set-up to measure combined impedance of the 150 Ω and ferrites	97
Figure H.1 – Measurement set-up using an AAN	101
Figure H.2 – Measurement set-up using a 150 Ω load to the outside surface of the shield	102
Figure H.3 – Measurement set-up using current and capacitive voltage probes	103
Figure H.4 – Characterization set-up	104
Figure I.1 – Example AAN for use with unscreened single balanced pairs	105
Figure I.2 – Example AAN with high LCL for use with either one or two unscreened balanced pairs	106
Figure I.3 – Example AAN with high LCL for use with one, two, three, or four unscreened balanced pairs	107
Figure I.4 – Example AAN, including a 50 Ω source matching network at the voltage measuring port, for use with two unscreened balanced pairs	108
Figure I.5 – Example AAN for use with two unscreened balanced pairs	109
Figure I.6 – Example AAN, including a 50 Ω source matching network at the voltage measuring port, for use with four unscreened balanced pairs	110
Figure I.7 – Example AAN for use with four unscreened balanced pairs	111
Figure I.8 – Example AN for use with coaxial cables, employing an internal common mode choke created by bifilar winding an insulated centre-conductor wire and an insulated screen-conductor wire on a common magnetic core (for example, a ferrite toroid)	112
Figure I.9 – Example AN for use with coaxial cables, employing an internal common mode choke created by miniature coaxial cable (miniature semi-rigid solid copper screen or miniature double-braided screen coaxial cable) wound on ferrite toroids	112
Figure I.10 – Example AN for use with multi-conductor screened cables, employing an internal common mode choke created by bifilar winding multiple insulated signal wires and an insulated screen-conductor wire on a common magnetic core (for example, a ferrite toroid)	113
Figure I.11 – Example AN for use with multi-conductor screened cables, employing an internal common mode choke created by winding a multi-conductor screened cable on ferrite toroids	113
Table 1 – Minimum scan times for the three CISPR bands with peak and quasi-peak detectors	27
Table 2 – Minimum measurement times for the four CISPR bands	27
Table A.2 – Testing conditions for types of EUTs – Screened cable	75
Table B.1 – Sweep time/frequency or fastest scan rate	77
Table D.1 – Pulse suppression factors and scan rates for a 100 Hz video bandwidth	82
Table D.2 – Meter time constants and the corresponding video bandwidths and maximum scan rates	83
Table F.1 – Maximum amplitude difference between peak and quasi-peak detected signals	90
Table G.1 – Summary of advantages and disadvantages of the methods described in the specific subclauses of Annex H	92
Table H.1 – Telecommunication port disturbance measurement procedure selection	98
Table H.2 – a_{LCL} values	99

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY MEASURING APPARATUS AND METHODS –

Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity – Conducted disturbance measurements

FOREWORD

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

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 16-2-1 bears the edition number 3.1. It consists of the third edition (2014-02) [documents CISPR/A/1053/FDIS and CISPR/A/1062/RVD] and its amendment 1 (2017-06) [documents CISPR/A/1168/CDV and CISPR/A/1201/RVC]. 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 16-2-1 has been prepared by CISPR subcommittee A: Radio-interference measurements and statistical methods.

This third edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition: Methods of measurement using a new type of ancillary equipment – the CDNE – are added.

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.
--

The contents of the corrigendum of August 2020 have been included in this copy.

SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY MEASURING APPARATUS AND METHODS –

Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity – Conducted disturbance measurements

1 Scope

This part of CISPR 16 is designated a basic standard that specifies the methods of measurement of disturbance phenomena in general in the frequency range 9 kHz to 18 GHz and especially of conducted disturbance phenomena in the frequency range 9 kHz to 30 MHz. ~~With a~~ The CDNE extends the frequency range ~~is 9 kHz~~ of conducted disturbance measurements to 300 Hz.

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

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 14-1, *Electromagnetic compatibility – Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus – Part 1: Emission*

CISPR 16-1-1:2010, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus*

CISPR 16-1-2:2014, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Coupling devices for conducted disturbance measurements*

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

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <http://www.electropedia.org>)

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	123
1 Domaine d'application	125
2 Références normatives	125
3 Termes, définitions et abréviations	126
3.1 Termes et définitions	126
3.2 Abréviations	132
4 Types de perturbations à mesurer	132
4.1 Généralités	132
4.2 Types de perturbations	133
4.3 Fonctions de détection	133
5 Connexion du matériel de mesure	133
5.1 Généralités	133
5.2 Connexion de l'équipement d'appoint	134
5.3 Connexions à la masse de référence RF	134
5.4 Connexion entre le matériel en essai et le réseau fictif d'alimentation (AMN)	136
6 Exigences et conditions générales de mesure	136
6.1 Généralités	136
6.2 Perturbation non produite par le matériel en essai	136
6.2.1 Généralités	136
6.2.2 Essais de conformité	136
6.3 Mesure d'une perturbation continue	137
6.3.1 Perturbation continue à bande étroite	137
6.3.2 Perturbation continue à large bande	137
6.3.3 Utilisation d'analyseurs de spectre et de récepteurs à balayage	137
6.4 Disposition et conditions de mesure du matériel en essai	137
6.4.1 Disposition du matériel en essai	137
6.4.2 Conditions de charge normales	140
6.4.3 Durée de fonctionnement	140
6.4.4 Durée de fonctionnement préalable/de préchauffage	140
6.4.5 Alimentation	140
6.4.6 Mode de fonctionnement	140
6.4.7 Fonctionnement d'un matériel à fonctions multiples	140
6.4.8 Détermination de la ou des dispositions de matériel en essai qui maximise(nt) les émissions	141
6.4.9 Enregistrement des résultats de mesure	141
6.5 Interprétation des résultats de mesure	141
6.5.1 Perturbations continues	141
6.5.2 Perturbations discontinues	142
6.5.3 Mesure de la durée des perturbations	142
6.6 Temps de mesure et vitesses de balayage pour les perturbations continues	142
6.6.1 Généralités	142
6.6.2 Temps de mesure minimaux	142

6.6.3	Vitesses de balayage des récepteurs à balayage et des analyseurs de spectre.....	143
6.6.4	Durées de balayage pour les récepteurs à accord par palier.....	144
6.6.5	Stratégies pour une vue d'ensemble du spectre en utilisant le détecteur de crête.....	145
6.6.6	Considérations temporelles concernant l'utilisation d'appareils de mesure à FFT	149
7	Mesure des perturbations conduites le long de câbles, de 9 kHz à 30 MHz	151
7.1	Généralités	151
7.2	Matériel de mesure (récepteurs, etc.).....	151
7.2.1	Généralités	151
7.2.2	Utilisation des détecteurs pour les mesures des perturbations conduites.....	151
7.3	Matériel de mesure d'appoint	152
7.3.1	Généralités	152
7.3.2	Réseaux fictifs (AN).....	152
7.3.3	Sondes de courant.....	153
7.4	Configuration du matériel en essai de l'EUT et méthode de mesure.....	154
7.4.1	Disposition du matériel en essai et sa connexion au réseau fictif	154
7.4.2	Mode opératoire Procédure de mesure des tensions perturbatrices non symétriques avec des réseaux en V (AMN) au moyen d'AN	160
7.4.3	Mesure des tensions en mode commun aux bornes de signaux en mode différentiel	169
7.4.4	Mesures au moyen de sondes de tension	170
7.4.5	Mesures au moyen d'une sonde de tension capacitive (CVP).....	174
7.4.6	Mesures au moyen de sondes de courant.....	174
7.5	Configuration d'essai des systèmes pour les mesures d'émissions conduites	175
7.5.1	Approche générale des mesures des systèmes	175
7.5.2	Configuration du système	175
7.5.3	Mesures des lignes d'interconnexion	178
7.5.4	Découplage des composantes du système.....	179
7.6	Mesures in situ	179
7.6.1	Généralités	179
7.6.2	Masse de référence	180
7.6.3	Mesure au moyen de sondes de tension	180
7.6.4	Choix des points de mesure.....	180
8	Mesure automatisée des perturbations	181
8.1	Précautions pour les mesures automatisées	181
8.2	Mode opératoire général de mesure.....	181
8.3	Mesures par prébalayage.....	182
8.4	Réduction des données.....	183
8.5	Maximisation des perturbations et mesure finale.....	183
8.6	Post-traitement et compte-rendu	183
8.7	Stratégies de la mesure de perturbations avec des appareils de mesure à FFT.....	184
9	Montage d'essai et mode opératoire de mesure utilisant le CDNE dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 300 MHz	184
9.1	Généralités	184

9.2	Montage d'essai.....	184
9.3	Mode opératoire de mesure	187
Annexe A (informative) Guide pour la connexion d'un matériel électrique au réseau fictif d'alimentation		188
A.1	Généralités	188
A.2	Classification des différents cas possibles	188
A.2.1	Matériels en essai correctement blindés, mais mal filtrés (Figures A.1 et A.2)	188
A.2.2	Matériels en essai correctement filtrés mais dont le blindage présente des fuites (Figures A.3 et A.4).....	189
A.2.3	Cas général pratique	190
A.3	Méthode de mise à la masse.....	192
A.4	Conditions de mise à la masse.....	192
A.4.1	Généralités	192
A.4.2	Classement des conditions d'essai typiques	193
A.5	Connexion du réseau fictif d'alimentation comme sonde de tension	193
Annexe B (informative) Utilisation d'analyseurs de spectre et de récepteurs à balayage.....		196
B.1	Généralités	196
B.2	Surcharge	196
B.3	Essai de linéarité	196
B.4	Sélectivité	196
B.5	Réponse normale aux impulsions.....	196
B.6	Détection de crête.....	196
B.7	Vitesse de balayage en fréquence	197
B.8	Interception du signal.....	197
B.9	Détection de la valeur moyenne	197
B.10	Sensibilité	198
B.11	Précision en amplitude.....	198
Annexe C (informative) Arbre de décision pour l'utilisation des détecteurs pour les mesures des perturbations conduites		199
Annexe D (informative) Vitesses de balayage et temps de mesure utilisables avec le détecteur de valeur moyenne		201
D.1	Généralités	201
D.2	Suppression des perturbations impulsives	201
D.2.1	Généralités	201
D.2.2	Suppression de la perturbation impulsive par moyennage numérique	202
D.3	Suppression de la modulation d'amplitude	202
D.4	Mesure des perturbations à bande étroite légèrement intermittentes, instables ou variables	202
D.5	Mode opératoire recommandé pour les mesures automatiques ou semi-automatiques	204
Annexe E (informative) Lignes directrices pour l'amélioration du montage d'essai avec des réseaux fictifs (AN)		205
E.1	Vérification in situ de l'impédance d'un AN et du facteur de division en tension.....	205
E.2	Bobines PE et absorbeurs de courant de gaine pour la suppression des boucles de masse	208
Annexe F (normative) Détermination de l'adéquation des analyseurs de spectre à des essais de conformité		210

Annexe G (informative) Recommandations de base concernant les mesures sur les accès de télécommunication	211
G.1 Limites	211
G.2 Combinaison d'une sonde de courant et d'une sonde de tension capacitive (CVP)	212
G.3 Principes de base concernant la sonde de tension capacitive	213
G.4 Combinaison de la limite de courant et de la limite de tension	213
G.5 Réglage de l'impédance TCM avec des ferrites	215
G.6 Spécifications concernant les ferrites utilisées avec les méthodes décrites à l'Annexe H	215
Annexe H (normative) Recommandations spécifiques concernant les mesures des perturbations conduites sur les accès de télécommunication	218
H.1 Généralités	218
H.2 Caractéristiques des réseaux fictifs asymétriques (AAN)	219
H.3 Caractéristiques de la sonde de courant	220
H.4 Caractéristiques de la sonde de tension capacitive	220
H.5 Modes opératoires pour les mesures de mode commun	220
H.5.1 Généralités	220
H.5.2 Mode opératoire de mesure utilisant les réseaux fictifs asymétriques (AAN)	220
H.5.3 Mode opératoire de mesure utilisant une charge de 150 Ω sur la surface extérieure du blindage du câble	221
H.5.4 Mode opératoire de mesure utilisant une combinaison d'une sonde de courant et d'une sonde de tension capacitive	222
H.5.5 Mesure de l'impédance de mode commun du câble, de la ferrite et du matériel associé (AE)	223
Annexe I (informative) Exemples de réseaux fictifs asymétriques (AAN) et de réseaux fictifs (AN) pour câbles blindés	225
Bibliographie	234
Figure 1 – Exemple d'un montage d'essai recommandé avec bobines PE, trois réseaux fictifs d'alimentation et un absorbeur de courant de gaine sur le câble RF	135
Figure 2 – Mesure d'une combinaison d'un signal à onde entretenue ("bande étroite") et d'un signal impulsif ("large bande") en utilisant des balayages multiples avec maintien du maximum	146
Figure 3 – Exemple d'analyse temporelle	147
Figure 4 – Spectre à large bande mesuré avec un récepteur à accord par palier	148
Figure 5 – Perturbations intermittentes à bande étroite mesurées en utilisant des balayages courts, rapides et répétitifs avec la fonction «maintien du maximum» pour obtenir une vue d'ensemble du spectre de perturbation	148
Figure 6 – Balayage FFT en segments	150
Figure 7 – Résolution en fréquence améliorée au moyen d'un appareil de mesure à FFT	150
Figure 8 – Illustration du courant I_{CCM}	154
Figure 9 – Configuration d'essai: matériel EUT sur table pour les mesures des perturbations conduites sur les conducteurs accès d'alimentation secteur en courant alternatif basse tension et sur les accès de données analogiques/numériques	156
Figure 10 – Montage de matériel en essai et de réseau AMN à 40 cm avec a) RGP vertical et b) RGP horizontal	157
Figure 11 – Exemple de configuration d'essai facultative pour un matériel en essai avec seulement un cordon d'alimentation fixé	157

Figure 12 – Configuration d'essai: matériel posé au sol (voir 7.4.1 et 7.5.2.3)	159
Figure 13 – Exemple de configuration d'essai: matériel posé au sol et sur stable (voir 7.4.1 et 7.5.2.3)	160
Figure 14 – Schéma de la configuration de mesure de la tension perturbatrice (voir également 7.5.2.3)	163
Figure 15 – Circuit équivalent de mesure de la tension perturbatrice non symétrique pour les matériels en essai de classe de sécurité I (mis à la terre)	164
Figure 16 – Circuit équivalent de mesure de la tension perturbatrice non symétrique pour les matériels en essai de classe de sécurité II (non mis à la terre)	166
Figure 17 – Élément RC pour main artificielle	167
Figure 18 – Perceuse électrique portative avec main artificielle	167
Figure 19 – Scie électrique portative avec main artificielle	168
Figure 20 – Exemple de mesure pour les sondes de tension	168
Figure 21 – Dispositif de mesure pour des commandes de régulation à deux bornes	168
Figure 22 – Procédure générique pour aider à une réduction du temps de mesure	182
Figure 23 – Montage d'essai pour la mesure d'un matériel en essai à un câble	185
Figure 24 – Montage d'essai pour la mesure d'un matériel en essai avec deux câbles connectés à deux surfaces adjacentes du matériel en essai	186
Figure 25 – Montage d'essai pour la mesure d'un matériel en essai avec deux câbles connectés à la même surface du matériel en essai	186
Figure 26 – Configuration d'essai: EUT sur table pour les mesures des perturbations conduites sur les accès d'alimentation en courant continu basse tension et en courant alternatif basse tension d'un GCPC	158
Figure 27 – Disposition de mesure type des perturbations conduites au niveau des accès d'alimentation secteur en courant alternatif basse tension et des accès d'alimentation en courant continu des matériels posés au sol avec un AMN et un AN en Δ utilisés comme sondes de tension, et avec une sonde de courant	174
Figure A.1 – Schéma de base de matériels en essai correctement blindés, mais mal filtrés	189
Figure A.2 – Schéma détaillé de matériels en essai correctement blindés, mais mal filtrés	189
Figure A.3 – Matériels en essai correctement filtrés, mais dont le blindage présente des fuites	190
Figure A.4 – Matériels en essai correctement filtrés, mais dont le blindage présente des fuites, avec U_2 réduite à zéro	190
Figure A.5 – Alimentation par perturbation par des conducteurs blindés	190
Figure A.6 – Alimentation par perturbation par des conducteurs non blindés, mais filtrés	191
Figure A.7 – Alimentation par perturbation par des conducteurs ordinaires	191
Figure A.8 – Configurations du réseau fictif d'alimentation	194
Figure C 1 – Arbre de décision pour l'optimisation de la durée des mesures des perturbations conduites avec les détecteurs de crête, de quasi-crête et de valeur moyenne	199
Figure D 1 – Fonction de pondération d'une impulsion de 10 ms pour des détecteurs de valeurs de crête ("PK") et moyennes avec ("CISPR AV") ou sans ("AV") relevé de crête; avec un contrôleur de période de 160 ms	203
Figure D.2 – Fonctions de pondération d'une impulsion de 10 ms pour des détecteurs de valeurs de crête ("PK") et moyennes avec ("CISPR AV") ou sans ("AV") relevé de crête; avec un contrôleur de période de 100 ms	203

Figure D.3 – Exemple de fonctions de pondération (d'une impulsion de 1 Hz) pour des détections de valeurs de crête («PK») et moyennes en fonction de la largeur d'impulsion; avec un contrôleur de période de 160 ms	204
Figure D.4 – Exemple de fonctions de pondération (d'une impulsion de 1 Hz) pour des détections de valeurs de crête («PK») et moyennes en fonction de la largeur d'impulsion; avec un contrôleur de période de 100 ms	204
Figure E 1 – Résonance parallèle de la capacité de l'enveloppe et de l'inductance de liaison de masse	205
Figure E.2 – Connexion d'un AMN au RGP au moyen d'une tôle large, pour réaliser une mise à la masse à faible inductance	206
Figure E.3 – Impédance mesurée avec la disposition de la Figure E.2, en référence à la fois à la masse en face avant et à la tôle de mise à la masse	206
Figure E.4 – Facteur VDF dans la configuration de la Figure E.2, mesuré en référence à la masse en face avant et à la tôle de mise à la masse	206
Figure E. 5 – Disposition montrant la tôle de mise à la masse de mesure (représentée en pointillés) de l'impédance en référence au RGP	207
Figure E. 6 – Impédance mesurée avec la disposition de la Figure E.5, en référence au RGP	207
Figure E.7 – Facteur VDF mesuré avec des résonances parallèles dans la mise à la masse de l'AMN	207
Figure E.8 – Atténuation d'un absorbeur de courant de gaine mesuré dans un dispositif d'essai de 150 Ω	208
Figure E.9 – Dispositif de mesure de l'atténuation due aux bobines PE et aux absorbeurs de courant de gaine	209
Figure G 1 – Circuit de base pour considérer les limites avec une impédance TCM définie de 150 Ω	214
Figure G.2 – Circuit de base pour la mesure avec une impédance TCM inconnue	214
Figure G.3 – Configuration des impédances des composants utilisés à la Figure H.2	216
Figure G.4 – Montage d'essai de base pour mesurer l'impédance combinée des 150 Ω et des ferrites	217
Figure H 1 – Dispositif de mesure utilisant un réseau fictif asymétrique (AAN)	221
Figure H.2 – Dispositif de mesure utilisant une charge de 150 Ω à la surface extérieure du blindage	222
Figure H.3 – Dispositif de mesure utilisant des sondes de courant et de tension capacitive	223
Figure H.4 – Montage d'étalonnage	224
Figure I 1 – Exemple de réseau fictif asymétrique (AAN) destiné à être utilisé avec des paires symétriques uniques non blindées	225
Figure I.2 – Exemple de réseau fictif asymétrique (AAN) avec affaiblissement de conversion longitudinale (ACL) élevé destiné à être utilisé avec une ou deux paires symétriques non blindées	226
Figure I.3 – Exemple de réseau fictif asymétrique (AAN) avec affaiblissement de conversion longitudinale (ACL) élevé destiné à être utilisé avec une, deux, trois ou quatre paires symétriques non blindées	227
Figure I.4 – Exemple de réseau fictif asymétrique (AAN), incluant un réseau d'adaptation de source de 50 Ω sur l'accès de mesure de tension, destiné à être utilisé avec deux paires symétriques non blindées	228
Figure I.5 – Exemple de réseau fictif asymétrique (AAN) destiné à être utilisé avec deux paires symétriques non blindées	229

Figure I.6 – Exemple de réseau fictif asymétrique (AAN), incluant un réseau d'adaptation de source de 50 Ω sur l'accès de mesure de tension, destiné à être utilisé avec quatre paires symétriques non blindées	230
Figure I.7 – Exemple de réseau fictif asymétrique (AAN) destiné à être utilisé avec quatre paires symétriques non blindées	231
Figure I.8 – Exemple de réseau fictif (AN) destiné à être utilisé avec des câbles coaxiaux, utilisant une bobine d'arrêt de mode commun interne créée par un enroulement bifilaire d'un conducteur central isolé et d'un conducteur de blindage isolé sur un noyau magnétique commun (par exemple, un tore en ferrite)	232
Figure I.9 – Exemple de réseau fictif (AN) destiné à être utilisé avec des câbles coaxiaux, utilisant une bobine d'arrêt de mode commun interne créée par un câble coaxial miniature (câble coaxial à blindage de cuivre plein semi-rigide ou à blindage miniature à double tresse) enroulé sur des tores en ferrite.....	232
Figure I.10 – Exemple de réseau fictif (AN) destiné à être utilisé avec des câbles blindés multiconducteur, utilisant une bobine d'arrêt de mode commun interne créée par un enroulement bifilaire de plusieurs conducteurs de signaux isolés et un conducteur de blindage isolé sur un noyau magnétique commun (par exemple, un tore en ferrite).....	233
Figure I.11 – Exemple de réseau fictif (AN) destiné à être utilisé avec des câbles blindés multiconducteur, utilisant une bobine d'arrêt de mode commun interne créée par un enroulement d'un câble blindé multiconducteur sur des tores en ferrite	233
Tableau 1 – Durées de balayage minimales pour les trois bandes CISPR avec détecteur de crête et détecteur de quasi-crête	143
Tableau 2 – Temps de mesure minimaux pour les quatre bandes de la CISPR	143
Tableau A.2 – Conditions d'essai pour les types de matériel en essai – câble blindé	195
Tableau B. 1– Durée/fréquence de balayage ou vitesse de balayage la plus élevée	197
Tableau D 1 – Facteurs de suppression d'impulsion et vitesses de balayage pour une largeur de bande vidéo de 100 Hz	202
Tableau D.2 – Contrôleurs de période et largeurs de bandes vidéo correspondantes et vitesses de balayages maximales correspondantes	203
Tableau F 1 – Différence d'amplitude maximale entre les signaux détectés de crête et de quasi-crête.....	210
Tableau G 1 – Résumé des avantages et des inconvénients des méthodes décrites dans les paragraphes spécifiques de l'Annexe H	212
Tableau H 1 – Choix du mode opératoire de mesure des perturbations sur les accès de télécommunication	218
Tableau H.2 – Valeurs de a_{ACL}	219

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 2-1: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesures des perturbations conduites

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(s) amendement(s) doivent être considérées comme les documents officiels.

Cette version consolidée de la CISPR 16-2-1 porte le numéro d'édition 3.1. Elle comprend la troisième édition (2014-02) [documents CISPR/A/1053/FDIS et CISPR/A/1062/RVD] et son amendement 1 (2017-06) [documents CISPR/A/1168/CDV et CISPR/A/1201/RVC]. 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 16-2-1 a été établie par le sous-comité A du CISPR: Mesures des perturbations radioélectriques et méthodes statistiques.

Cette troisième édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente: Des méthodes de mesure utilisant un nouveau type d'équipement d'appoint – dont l'acronyme est CDNE – ont été ajoutées.

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.

Le contenu du corrigendum d'août 2020 a été pris en considération dans cet exemplaire.

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

Partie 2-1: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesures des perturbations conduites

1 Domaine d'application

La présente partie de la CISPR 16 est une norme ~~fondamentale~~ de base qui spécifie les méthodes de mesure des phénomènes ~~perturbateurs en général~~ de perturbation dans la ~~gamme~~ plage de fréquences de 9 kHz à 18 GHz, ~~et spécialement les perturbations conduites dans la gamme~~ d'une manière générale, et plus spécifiquement des phénomènes de perturbation conduite dans la plage de fréquences de 9 kHz à 30 MHz. ~~Avec un~~ Le CDNE étend la ~~gamme~~ plage de fréquences ~~est comprise entre 9 kHz et~~ des mesures des perturbations conduites jusqu'à 300 Hz.

NOTE Conformément au guide 107 de l'IEC, la CISPR 16 est une norme CEM fondamentale à l'intention des comités de produits de l'IEC. Comme l'indique le Guide 107, les comités de produits sont chargés de déterminer l'applicabilité de la norme CEM. Le CISPR et ses sous-comités sont disposés à collaborer avec les comités de produits pour l'appréciation de la valeur des essais CEM particuliers dédiés aux produits spécifiques.

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 14-1, *Compatibilité électromagnétique – Exigences pour les appareils électro-domestiques, outillages électriques et appareils analogues – Partie 1: Émission*

CISPR 16-1-1:2010, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Appareils de mesure*

CISPR 16-1-2:2014, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-2: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Dispositifs de couplage pour la mesure des perturbations conduites*

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

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Électrotechnique International* (disponible sous <<http://www.electropedia.org>>)

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 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity – Conducted disturbance measurements

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

Partie 2-1: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesures des perturbations conduites

CONTENTS

FOREWORD.....	8
1 Scope.....	10
2 Normative references	10
3 Terms, definitions and abbreviations	10
3.1 Terms and definitions.....	10
3.2 Abbreviations.....	17
4 Types of disturbance to be measured	17
4.1 General.....	17
4.2 Types of disturbance.....	17
4.3 Detector functions.....	18
5 Connection of measuring equipment.....	18
5.1 General.....	18
5.2 Connection of ancillary equipment	18
5.3 Connections to reference ground	18
5.4 Connection between the EUT and the artificial network.....	20
6 General measurement requirements and conditions	21
6.1 General.....	21
6.2 Disturbance not produced by the equipment under test.....	21
6.2.1 General	21
6.2.2 Compliance testing	21
6.3 Measurement of continuous disturbance	21
6.3.1 Narrowband continuous disturbance	21
6.3.2 Broadband continuous disturbance	21
6.3.3 Use of spectrum analyzers and scanning receivers.....	22
6.4 EUT arrangement and measurement conditions	22
6.4.1 EUT arrangement	22
6.4.2 Normal load conditions	24
6.4.3 Duration of operation	24
6.4.4 Running-in/warm-up time.....	24
6.4.5 Supply.....	25
6.4.6 Mode of operation.....	25
6.4.7 Operation of multifunction equipment.....	25
6.4.8 Determination of EUT arrangement(s) that maximize(s) emissions	25
6.4.9 Recording of measurement results.....	25
6.5 Interpretation of measuring results.....	25
6.5.1 Continuous disturbance	25
6.5.2 Discontinuous disturbance	26
6.5.3 Measurement of the duration of disturbances.....	26
6.6 Measurement times and scan rates for continuous disturbance	26
6.6.1 General	26
6.6.2 Minimum measurement times	26
6.6.3 Scan rates for scanning receivers and spectrum analyzers	27
6.6.4 Scan times for stepping receivers	28
6.6.5 Strategies for obtaining a spectrum overview using the peak detector	29

6.6.6	Timing considerations using FFT-based instruments.....	32
7	Measurement of disturbances conducted along leads, 9 kHz to 30 MHz	34
7.1	General.....	34
7.2	Measuring equipment (receivers, etc.)	35
7.2.1	General	35
7.2.2	Use of detectors for conducted disturbance measurements	35
7.3	Ancillary measuring equipment	35
7.3.1	General	35
7.3.2	Artificial networks (ANs)	35
7.3.3	Voltage probes	36
7.3.4	Current probes	36
7.4	Configuration of the EUT and method of measurement	37
7.4.1	Arrangement of the EUT and its connection to the AN	37
7.4.2	Procedure for the measurement of disturbance voltages with ANs	43
7.4.3	Measurement of common mode voltages at differential mode signal terminals	52
7.4.4	Measurements using voltage probes	53
7.4.5	Measurement using a capacitive voltage probe (CVP)	55
7.4.6	Measurements using current probes	55
7.5	System test configuration for conducted emissions measurements	56
7.5.1	General approach to system measurements	56
7.5.2	System configuration	56
7.5.3	Measurements of interconnecting lines	59
7.5.4	Decoupling of system components.....	59
7.6	In situ measurements.....	59
7.6.1	General	59
7.6.2	Reference ground	60
7.6.3	Measurement with voltage probes.....	60
7.6.4	Selection of measuring points.....	60
8	Automated measurement of disturbances	61
8.1	Precautions for automating measurements.....	61
8.2	Generic measurement procedure	61
8.3	Prescan measurements	62
8.4	Data reduction	63
8.5	Disturbance maximization and final measurement.....	63
8.6	Post processing and reporting.....	63
8.7	Disturbance measurement strategies with FFT-based measuring instruments	63
9	Test set-up and measurement procedure using the CDNE in the frequency range 30 MHz to 300 MHz	64
9.1	General.....	64
9.2	Test set-up	64
9.3	Measurement procedure	66
Annex A (informative)	Guidelines for connection of electrical equipment to the artificial mains network	68
A.1	General.....	68
A.2	Classification of the possible cases.....	68
A.2.1	Well-shielded but poorly filtered EUT (Figures A.1 and A.2).....	68

A.2.2	Well-filtered but incompletely shielded EUT (Figures A.3 and A.4)	69
A.2.3	Practical general case	69
A.3	Method of grounding	71
A.4	Conditions of grounding	71
A.4.1	General	71
A.4.2	Classification of typical testing conditions	72
A.5	Connection of the AMN as a voltage probe	73
Annex B (informative)	Use of spectrum analyzers and scanning receivers	75
B.1	General.....	75
B.2	Overload	75
B.3	Linearity test	75
B.4	Selectivity	75
B.5	Normal response to pulses.....	75
B.6	Peak detection	75
B.7	Frequency scan rate	76
B.8	Signal interception	76
B.9	Average detection.....	76
B.10	Sensitivity	76
B.11	Amplitude accuracy.....	77
Annex C (informative)	Decision tree for use of detectors for conducted disturbance measurements	78
Annex D (informative)	Scan rates and measurement times for use with the average detector	80
D.1	General.....	80
D.2	Suppression of impulsive disturbance	80
D.2.1	General	80
D.2.2	Suppression of impulsive disturbance by digital averaging.....	81
D.3	Suppression of amplitude modulation.....	81
D.4	Measurement of slowly intermittent, unsteady or drifting narrowband disturbances	81
D.5	Recommended procedure for automated or semi-automated measurements	83
Annex E (informative)	Guidelines for the improvement of the test set-up with ANs	84
E.1	In situ verification of the AN impedance and voltage division factor.....	84
E.2	PE chokes and sheath current absorbers for the suppression of ground loops.....	87
Annex F (normative)	Determination of suitability of spectrum analyzers for compliance tests	89
Annex G (informative)	Basic guidance for measurements on telecommunications ports	90
G.1	Limits.....	90
G.2	Combination of current probe and capacitive voltage probe (CVP)	91
G.3	Basic ideas of the capacitive voltage probe.....	91
G.4	Combination of current limit and voltage limit	92
G.5	Adjusting the TCM impedance with ferrites	94
G.6	Ferrite specifications for use with methods of Annex H	94
Annex H (normative)	Specific guidance for conducted disturbance measurements on telecommunication ports	97
H.1	General.....	97

H.2	Characteristics of AANs	98
H.3	Characteristics of current probe	99
H.4	Characteristics of capacitive voltage probe	99
H.5	Procedures for common mode measurements	99
H.5.1	General	99
H.5.2	Measurement procedure using AANs	99
H.5.3	Measurement procedure using a 150 Ω load connected to the outside surface of the cable screen	100
H.5.4	Measurement procedure using a combination of current probe and capacitive voltage probe	101
H.5.5	Measurement of cable, ferrite and AE common mode impedance	102
Annex I (informative)	Examples of AANs and ANs for screened cables	104
Bibliography		113

Figure 1	– Example of a recommended test set-up with PE chokes with three AMNs and a sheath current absorber on the RF cable	20
Figure 2	– Measurement of a combination of a CW signal (“NB”) and an impulsive signal (“BB”) using multiple sweeps with maximum hold	29
Figure 3	– Example of a timing analysis	30
Figure 4	– A broadband spectrum measured with a stepped receiver	31
Figure 5	– Intermittent narrowband disturbances measured using fast short repetitive sweeps with maximum hold function to obtain an overview of the disturbance spectrum	32
Figure 6	– FFT scan in segments	33
Figure 7	– Frequency resolution enhanced by FFT-based measuring instrument	34
Figure 8	– Illustration of current I_{CCM}	37
Figure 9	– Test configuration: table-top EUT for conducted disturbance measurements on LV AC mains power ports and on analogue/digital data ports	39
Figure 10	– Arrangement of EUT and AMN at 40 cm distance, with a) vertical RGP and b) horizontal RGP	40
Figure 11	– Optional example test configuration for an EUT with only a power cord attached	40
Figure 12	– Test configuration: floor-standing equipment (see 7.4.1 and 7.5.2.3)	42
Figure 13	– Example test configuration: floor-standing and table-top equipment (see 7.4.1 and 7.5.2.3)	43
Figure 14	– Schematic of disturbance voltage measurement configuration (see also 7.5.2.3)	46
Figure 15	– Equivalent circuit for measurement of unsymmetric disturbance voltage for safety-class I (grounded) EUT	47
Figure 16	– Equivalent circuit for measurement of unsymmetric disturbance voltage for safety-class II (ungrounded) EUT	49
Figure 17	– RC element for artificial hand	50
Figure 18	– Portable electric drill with artificial hand	50
Figure 19	– Portable electric saw with artificial hand	51
Figure 22	– Generic process to help reduce measurement time	62
Figure 23	– Test set-up for measurement of an EUT with one cable	65
Figure 24	– Test set-up for measurement of an EUT with two cables connected adjacent surfaces of the EUT	66

Figure 25 – Test set-up for measurement of an EUT with two cables connected on the same surface of the EUT	66
Figure 26 – Test configuration: table-top EUT for conducted disturbance measurements on the LV AC mains and LV DC power port of a GPCP	41
Figure 27 – Typical arrangement for measurement of conducted disturbances at LV AC mains and DC power ports of floor standing equipment with an AMN and a Δ -AN used as voltage probes, and with a current probe	55
Figure A.1 – Basic schematic of well-shielded but poorly filtered EUT	68
Figure A.2 – Detail of well-shielded but poorly filtered EUT	69
Figure A.3 – Well-filtered but incompletely shielded EUT	69
Figure A.4 – Well-filtered but incompletely shielded EUT, with U_2 reduced to zero	69
Figure A.5 – Disturbance supply through shielded conductors	70
Figure A.6 – Disturbance supply through unshielded but filtered conductors	70
Figure A.7 – Disturbance supply through ordinary conductors	71
Figure A.8 – AMN configurations	73
Figure C.1 – Decision tree for optimizing speed of conducted disturbance measurements with peak, quasi-peak and average detectors	78
Figure D.1 – Weighting function of a 10 ms pulse for peak (“PK”) and average detections with (“CISPR AV”) and without (“AV”) peak reading; meter time constant 160 ms	82
Figure D.2 – Weighting functions of a 10 ms pulse for peak (“PK”) and average detections with (“CISPR AV”) and without (“AV”) peak reading; meter time constant 100 ms	82
Figure D.3 – Example of weighting functions (of a 1 Hz pulse) for peak (“PK”) and average detections as a function of pulse width; meter time constant 160 ms	83
Figure D.4 – Example of weighting functions (of a 1 Hz pulse) for peak (“PK”) and average detections as a function of pulse width; meter time constant 100 ms	83
Figure E.1 – Parallel resonance of enclosure capacitance and ground strap inductance	84
Figure E.2 – Connection of an AMN to RGP using a wide grounding sheet for low inductance grounding	85
Figure E.3 – Impedance measured with the arrangement of Figure E.2 both with reference to the front panel ground and to the grounding sheet	85
Figure E.4 – VDF in the configuration of Figure E.2 measured with reference to the front panel ground and to the grounding sheet	85
Figure E.5 – Arrangement showing the measurement grounding sheet (shown with dotted lines) when measuring the impedance with reference to RGP	86
Figure E.6 – Impedance measured with the arrangement of Figure E.5 with reference to the RGP	86
Figure E.7 – VDF measured with parallel resonances in the AMN grounding	86
Figure E.8 – Attenuation of a sheath current absorber measured in a 150 Ω test arrangement	87
Figure E.9 – Arrangement for the measurement of attenuation due to PE chokes and sheath current absorbers	88
Figure G.1 – Basic circuit for considering the limits with a defined TCM impedance of 150 Ω	93
Figure G.2 – Basic circuit for the measurement with unknown TCM impedance	93
Figure G.3 – Impedance layout of the components used in Figure H.2	95

Figure G.4 – Basic test set-up to measure combined impedance of the 150 Ω and ferrites	96
Figure H.1 – Measurement set-up using an AAN	100
Figure H.2 – Measurement set-up using a 150 Ω load to the outside surface of the shield	101
Figure H.3 – Measurement set-up using current and capacitive voltage probes	102
Figure H.4 – Characterization set-up	103
Figure I.1 – Example AAN for use with unscreened single balanced pairs	104
Figure I.2 – Example AAN with high LCL for use with either one or two unscreened balanced pairs	105
Figure I.3 – Example AAN with high LCL for use with one, two, three, or four unscreened balanced pairs	106
Figure I.4 – Example AAN, including a 50 Ω source matching network at the voltage measuring port, for use with two unscreened balanced pairs	107
Figure I.5 – Example AAN for use with two unscreened balanced pairs	108
Figure I.6 – Example AAN, including a 50 Ω source matching network at the voltage measuring port, for use with four unscreened balanced pairs	109
Figure I.7 – Example AAN for use with four unscreened balanced pairs	110
Figure I.8 – Example AN for use with coaxial cables, employing an internal common mode choke created by bifilar winding an insulated centre-conductor wire and an insulated screen-conductor wire on a common magnetic core (for example, a ferrite toroid)	111
Figure I.9 – Example AN for use with coaxial cables, employing an internal common mode choke created by miniature coaxial cable (miniature semi-rigid solid copper screen or miniature double-braided screen coaxial cable) wound on ferrite toroids	111
Figure I.10 – Example AN for use with multi-conductor screened cables, employing an internal common mode choke created by bifilar winding multiple insulated signal wires and an insulated screen-conductor wire on a common magnetic core (for example, a ferrite toroid)	112
Figure I.11 – Example AN for use with multi-conductor screened cables, employing an internal common mode choke created by winding a multi-conductor screened cable on ferrite toroids	112
Table 1 – Minimum scan times for the three CISPR bands with peak and quasi-peak detectors	27
Table 2 – Minimum measurement times for the four CISPR bands	27
Table A.2 – Testing conditions for types of EUTs – Screened cable	74
Table B.1 – Sweep time/frequency or fastest scan rate	76
Table D.1 – Pulse suppression factors and scan rates for a 100 Hz video bandwidth	81
Table D.2 – Meter time constants and the corresponding video bandwidths and maximum scan rates	82
Table F.1 – Maximum amplitude difference between peak and quasi-peak detected signals	89
Table G.1 – Summary of advantages and disadvantages of the methods described in the specific subclauses of Annex H	91
Table H.1 – Telecommunication port disturbance measurement procedure selection	97
Table H.2 – a_{LCL} values	98

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

INTERNATIONAL SPECIAL COMMITTEE ON RADIO INTERFERENCE

SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY MEASURING APPARATUS AND METHODS –

Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity – Conducted disturbance measurements

FOREWORD

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

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 16-2-1 bears the edition number 3.1. It consists of the third edition (2014-02) [documents CISPR/A/1053/FDIS and CISPR/A/1062/RVD] and its amendment 1 (2017-06) [documents CISPR/A/1168/CDV and CISPR/A/1201/RVC]. 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 16-2-1 has been prepared by CISPR subcommittee A: Radio-interference measurements and statistical methods.

This third edition constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition: Methods of measurement using a new type of ancillary equipment – the CDNE – are added.

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.

The contents of the corrigendum of August 2020 have been included in this copy.

SPECIFICATION FOR RADIO DISTURBANCE AND IMMUNITY MEASURING APPARATUS AND METHODS –

Part 2-1: Methods of measurement of disturbances and immunity – Conducted disturbance measurements

1 Scope

This part of CISPR 16 is designated a basic standard that specifies the methods of measurement of disturbance phenomena in general in the frequency range 9 kHz to 18 GHz and especially of conducted disturbance phenomena in the frequency range 9 kHz to 30 MHz. The CDNE extends the frequency range of conducted disturbance measurements to 300 Hz.

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

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 14-1, *Electromagnetic compatibility – Requirements for household appliances, electric tools and similar apparatus – Part 1: Emission*

CISPR 16-1-1:2010, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-1: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Measuring apparatus*

CISPR 16-1-2:2014, *Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods – Part 1-2: Radio disturbance and immunity measuring apparatus – Coupling devices for conducted disturbance measurements*

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

IEC 60050 (all parts), *International Electrotechnical Vocabulary* (available at <http://www.electropedia.org>)

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	121
1 Domaine d'application	123
2 Références normatives	123
3 Termes, définitions et abréviations	124
3.1 Termes et définitions	124
3.2 Abréviations	129
4 Types de perturbations à mesurer	130
4.1 Généralités	130
4.2 Types de perturbations	130
4.3 Fonctions de détection	131
5 Connexion du matériel de mesure	131
5.1 Généralités	131
5.2 Connexion de l'équipement d'appoint	131
5.3 Connexions à la masse de référence	132
5.4 Connexion entre le matériel en essai et le réseau fictif	133
6 Exigences et conditions générales de mesure	134
6.1 Généralités	134
6.2 Perturbation non produite par le matériel en essai	134
6.2.1 Généralités	134
6.2.2 Essais de conformité	134
6.3 Mesure d'une perturbation continue	135
6.3.1 Perturbation continue à bande étroite	135
6.3.2 Perturbation continue à large bande	135
6.3.3 Utilisation d'analyseurs de spectre et de récepteurs à balayage	135
6.4 Disposition et conditions de mesure du matériel en essai	135
6.4.1 Disposition du matériel en essai	135
6.4.2 Conditions de charge normales	138
6.4.3 Durée de fonctionnement	138
6.4.4 Durée de fonctionnement préalable/de préchauffage	138
6.4.5 Alimentation	138
6.4.6 Mode de fonctionnement	138
6.4.7 Fonctionnement d'un matériel à fonctions multiples	138
6.4.8 Détermination de la ou des dispositions de matériel en essai qui maximise(nt) les émissions	139
6.4.9 Enregistrement des résultats de mesure	139
6.5 Interprétation des résultats de mesure	139
6.5.1 Perturbations continues	139
6.5.2 Perturbations discontinues	140
6.5.3 Mesure de la durée des perturbations	140
6.6 Temps de mesure et vitesses de balayage pour les perturbations continues	140
6.6.1 Généralités	140
6.6.2 Temps de mesure minimaux	140
6.6.3 Vitesses de balayage des récepteurs à balayage et des analyseurs de spectre	141

6.6.4	Durées de balayage pour les récepteurs à accord par palier.....	142
6.6.5	Stratégies pour une vue d'ensemble du spectre en utilisant le détecteur de crête.....	143
6.6.6	Considérations temporelles concernant l'utilisation d'appareils de mesure à FFT	147
7	Mesure des perturbations conduites le long de câbles, de 9 kHz à 30 MHz	149
7.1	Généralités	149
7.2	Matériel de mesure (récepteurs, etc.).....	149
7.2.1	Généralités	149
7.2.2	Utilisation des détecteurs pour les mesures des perturbations conduites	149
7.3	Matériel de mesure d'appoint	150
7.3.1	Généralités	150
7.3.2	Réseaux fictifs (AN).....	150
7.3.3	Sondes de courant.....	151
7.4	Configuration de l'EUT et méthode de mesure	152
7.4.1	Disposition du matériel en essai et sa connexion au réseau fictif	152
7.4.2	Procédure de mesure des tensions perturbatrices au moyen d'AN	158
7.4.3	Mesure des tensions en mode commun aux bornes de signaux en mode différentiel	167
7.4.4	Mesures au moyen de sondes de tension	168
7.4.5	Mesures au moyen d'une sonde de tension capacitive (CVP).....	170
7.4.6	Mesures au moyen de sondes de courant	171
7.5	Configuration d'essai des systèmes pour les mesures d'émissions conduites	171
7.5.1	Approche générale des mesures des systèmes	171
7.5.2	Configuration du système	172
7.5.3	Mesures des lignes d'interconnexion	175
7.5.4	Découplage des composantes du système.....	175
7.6	Mesures in situ	175
7.6.1	Généralités	175
7.6.2	Masse de référence	176
7.6.3	Mesure au moyen de sondes de tension	176
7.6.4	Choix des points de mesure.....	177
8	Mesure automatisée des perturbations	177
8.1	Précautions pour les mesures automatisées	177
8.2	Mode opératoire général de mesure	178
8.3	Mesures par prébalayage.....	178
8.4	Réduction des données.....	179
8.5	Maximisation des perturbations et mesure finale	179
8.6	Post-traitement et compte-rendu	180
8.7	Stratégies de la mesure de perturbations avec des appareils de mesure à FFT.....	180
9	Montage d'essai et mode opératoire de mesure utilisant le CDNE dans la gamme de fréquences de 30 MHz à 300 MHz	180
9.1	Généralités	180
9.2	Montage d'essai.....	181
9.3	Mode opératoire de mesure	183

Annexe A (informative) Guide pour la connexion d'un matériel électrique au réseau fictif d'alimentation	184
A.1 Généralités	184
A.2 Classification des différents cas possibles	184
A.2.1 Matériels en essai correctement blindés, mais mal filtrés (Figures A.1 et A.2)	184
A.2.2 Matériels en essai correctement filtrés mais dont le blindage présente des fuites (Figures A.3 et A.4)	185
A.2.3 Cas général pratique	186
A.3 Méthode de mise à la masse	188
A.4 Conditions de mise à la masse	188
A.4.1 Généralités	188
A.4.2 Classement des conditions d'essai typiques	189
A.5 Connexion du réseau fictif d'alimentation comme sonde de tension	189
Annexe B (informative) Utilisation d'analyseurs de spectre et de récepteurs à balayage	192
B.1 Généralités	192
B.2 Surcharge	192
B.3 Essai de linéarité	192
B.4 Sélectivité	192
B.5 Réponse normale aux impulsions	192
B.6 Détection de crête	192
B.7 Vitesse de balayage en fréquence	193
B.8 Interception du signal	193
B.9 Détection de la valeur moyenne	193
B.10 Sensibilité	194
B.11 Précision en amplitude	194
Annexe C (informative) Arbre de décision pour l'utilisation des détecteurs pour les mesures des perturbations conduites	195
Annexe D (informative) Vitesses de balayage et temps de mesure utilisables avec le détecteur de valeur moyenne	197
D.1 Généralités	197
D.2 Suppression des perturbations impulsives	197
D.2.1 Généralités	197
D.2.2 Suppression de la perturbation impulsive par moyennage numérique	198
D.3 Suppression de la modulation d'amplitude	198
D.4 Mesure des perturbations à bande étroite légèrement intermittentes, instables ou variables	198
D.5 Mode opératoire recommandé pour les mesures automatiques ou semi-automatiques	200
Annexe E (informative) Lignes directrices pour l'amélioration du montage d'essai avec des réseaux fictifs (AN)	201
E.1 Vérification in situ de l'impédance d'un AN et du facteur de division en tension	201
E.2 Bobines PE et absorbeurs de courant de gaine pour la suppression des boucles de masse	204
Annexe F (normative) Détermination de l'adéquation des analyseurs de spectre à des essais de conformité	206
Annexe G (informative) Recommandations de base concernant les mesures sur les accès de télécommunication	207

G.1	Limites	207
G.2	Combinaison d'une sonde de courant et d'une sonde de tension capacitive (CVP)	208
G.3	Principes de base concernant la sonde de tension capacitive	209
G.4	Combinaison de la limite de courant et de la limite de tension	209
G.5	Réglage de l'impédance TCM avec des ferrites	211
G.6	Spécifications concernant les ferrites utilisées avec les méthodes décrites à l'Annexe H	211
Annexe H (normative) Recommandations spécifiques concernant les mesures des perturbations conduites sur les accès de télécommunication		214
H.1	Généralités	214
H.2	Caractéristiques des réseaux fictifs asymétriques (AAN)	215
H.3	Caractéristiques de la sonde de courant	216
H.4	Caractéristiques de la sonde de tension capacitive	216
H.5	Modes opératoires pour les mesures de mode commun	216
H.5.1	Généralités	216
H.5.2	Mode opératoire de mesure utilisant les réseaux fictifs asymétriques (AAN)	216
H.5.3	Mode opératoire de mesure utilisant une charge de 150 Ω sur la surface extérieure du blindage du câble	217
H.5.4	Mode opératoire de mesure utilisant une combinaison d'une sonde de courant et d'une sonde de tension capacitive	218
H.5.5	Mesure de l'impédance de mode commun du câble, de la ferrite et du matériel associé (AE)	219
Annexe I (informative) Exemples de réseaux fictifs asymétriques (AAN) et de réseaux fictifs (AN) pour câbles blindés		221
Bibliographie		230
Figure 1 – Exemple d'un montage d'essai recommandé avec bobines PE, trois réseaux fictifs d'alimentation et un absorbeur de courant de gaine sur le câble RF		133
Figure 2 – Mesure d'une combinaison d'un signal à onde entretenue ("bande étroite") et d'un signal impulsif ("large bande") en utilisant des balayages multiples avec maintien du maximum		144
Figure 3 – Exemple d'analyse temporelle		145
Figure 4 – Spectre à large bande mesuré avec un récepteur à accord par palier		146
Figure 5 – Perturbations intermittentes à bande étroite mesurées en utilisant des balayages courts, rapides et répétitifs avec la fonction «maintien du maximum» pour obtenir une vue d'ensemble du spectre de perturbation		146
Figure 6 – Balayage FFT en segments		148
Figure 7 – Résolution en fréquence améliorée au moyen d'un appareil de mesure à FFT		148
Figure 8 – Illustration du courant I_{CCM}		152
Figure 9 – Configuration d'essai: EUT sur table pour les mesures des perturbations conduites sur les accès d'alimentation secteur en courant alternatif basse tension et sur les accès de données analogiques/numériques		154
Figure 10 – Montage de matériel en essai et de réseau AMN à 40 cm avec a) RGP vertical et b) RGP horizontal		155
Figure 11 – Exemple de configuration d'essai facultative pour un matériel en essai avec seulement un cordon d'alimentation fixé		155
Figure 12 – Configuration d'essai: matériel posé au sol (voir 7.4.1 et 7.5.2.3)		157

Figure 13 – Exemple de configuration d'essai: matériel posé au sol et sur stable (voir 7.4.1 et 7.5.2.3)	158
Figure 14 – Schéma de la configuration de mesure de la tension perturbatrice (voir également 7.5.2.3)	161
Figure 15 – Circuit équivalent de mesure de la tension perturbatrice non symétrique pour les matériels en essai de classe de sécurité I (mis à la terre)	162
Figure 16 – Circuit équivalent de mesure de la tension perturbatrice non symétrique pour les matériels en essai de classe de sécurité II (non mis à la terre)	164
Figure 17 – Élément RC pour main artificielle	165
Figure 18 – Perceuse électrique portable avec main artificielle	165
Figure 19 – Scie électrique portable avec main artificielle	166
Figure 22 – Procédure générique pour aider à une réduction du temps de mesure	178
Figure 23 – Montage d'essai pour la mesure d'un matériel en essai à un câble	182
Figure 24 – Montage d'essai pour la mesure d'un matériel en essai avec deux câbles connectés à deux surfaces adjacentes du matériel en essai	182
Figure 25 – Montage d'essai pour la mesure d'un matériel en essai avec deux câbles connectés à la même surface du matériel en essai	183
Figure 26 – Configuration d'essai: EUT sur table pour les mesures des perturbations conduites sur les accès d'alimentation en courant continu basse tension et en courant alternatif basse tension d'un GCPC	156
Figure 27 – Disposition de mesure type des perturbations conduites au niveau des accès d'alimentation secteur en courant alternatif basse tension et des accès d'alimentation en courant continu des matériels posés au sol avec un AMN et un AN en Δ utilisés comme sondes de tension, et avec une sonde de courant	170
Figure A.1 – Schéma de base de matériels en essai correctement blindés, mais mal filtrés	185
Figure A.2 – Schéma détaillé de matériels en essai correctement blindés, mais mal filtrés	185
Figure A.3 – Matériels en essai correctement filtrés, mais dont le blindage présente des fuites	186
Figure A.4 – Matériels en essai correctement filtrés, mais dont le blindage présente des fuites, avec U_2 réduite à zéro	186
Figure A.5 – Alimentation par perturbation par des conducteurs blindés	186
Figure A.6 – Alimentation par perturbation par des conducteurs non blindés, mais filtrés	187
Figure A.7 – Alimentation par perturbation par des conducteurs ordinaires	187
Figure A.8 – Configurations du réseau fictif d'alimentation	190
Figure C 1 – Arbre de décision pour l'optimisation de la durée des mesures des perturbations conduites avec les détecteurs de crête, de quasi-crête et de valeur moyenne	195
Figure D 1 – Fonction de pondération d'une impulsion de 10 ms pour des détections de valeurs de crête ("PK") et moyennes avec ("CISPR AV") ou sans ("AV") relevé de crête; avec un contrôleur de période de 160 ms	199
Figure D.2 – Fonctions de pondération d'une impulsion de 10 ms pour des détections de valeurs de crête ("PK") et moyennes avec ("CISPR AV") ou sans ("AV") relevé de crête; avec un contrôleur de période de 100 ms	199
Figure D.3 – Exemple de fonctions de pondération (d'une impulsion de 1 Hz) pour des détections de valeurs de crête («PK») et moyennes en fonction de la largeur d'impulsion; avec un contrôleur de période de 160 ms	200

Figure D.4 – Exemple de fonctions de pondération (d'une impulsion de 1 Hz) pour des détections de valeurs de crête («PK») et moyennes en fonction de la largeur d'impulsion; avec un contrôleur de période de 100 ms	200
Figure E.1 – Résonance parallèle de la capacité de l'enveloppe et de l'inductance de liaison de masse	201
Figure E.2 – Connexion d'un AMN au RGP au moyen d'une tôle large, pour réaliser une mise à la masse à faible inductance	202
Figure E.3 – Impédance mesurée avec la disposition de la Figure E.2, en référence à la fois à la masse en face avant et à la tôle de mise à la masse	202
Figure E.4 – Facteur VDF dans la configuration de la Figure E.2, mesuré en référence à la masse en face avant et à la tôle de mise à la masse	202
Figure E.5 – Disposition montrant la tôle de mise à la masse de mesure (représentée en pointillés) de l'impédance en référence au RGP	203
Figure E.6 – Impédance mesurée avec la disposition de la Figure E.5, en référence au RGP	203
Figure E.7 – Facteur VDF mesuré avec des résonances parallèles dans la mise à la masse de l'AMN	203
Figure E.8 – Atténuation d'un absorbeur de courant de gaine mesuré dans un dispositif d'essai de 150 Ω	204
Figure E.9 – Dispositif de mesure de l'atténuation due aux bobines PE et aux absorbeurs de courant de gaine	205
Figure G.1 – Circuit de base pour considérer les limites avec une impédance TCM définie de 150 Ω	210
Figure G.2 – Circuit de base pour la mesure avec une impédance TCM inconnue	210
Figure G.3 – Configuration des impédances des composants utilisés à la Figure H.2	212
Figure G.4 – Montage d'essai de base pour mesurer l'impédance combinée des 150 Ω et des ferrites	213
Figure H.1 – Dispositif de mesure utilisant un réseau fictif asymétrique (AAN)	217
Figure H.2 – Dispositif de mesure utilisant une charge de 150 Ω à la surface extérieure du blindage	218
Figure H.3 – Dispositif de mesure utilisant des sondes de courant et de tension capacitive	219
Figure H.4 – Montage d'étalonnage	220
Figure I.1 – Exemple de réseau fictif asymétrique (AAN) destiné à être utilisé avec des paires symétriques uniques non blindées	221
Figure I.2 – Exemple de réseau fictif asymétrique (AAN) avec affaiblissement de conversion longitudinale (ACL) élevé destiné à être utilisé avec une ou deux paires symétriques non blindées	222
Figure I.3 – Exemple de réseau fictif asymétrique (AAN) avec affaiblissement de conversion longitudinale (ACL) élevé destiné à être utilisé avec une, deux, trois ou quatre paires symétriques non blindées	223
Figure I.4 – Exemple de réseau fictif asymétrique (AAN), incluant un réseau d'adaptation de source de 50 Ω sur l'accès de mesure de tension, destiné à être utilisé avec deux paires symétriques non blindées	224
Figure I.5 – Exemple de réseau fictif asymétrique (AAN) destiné à être utilisé avec deux paires symétriques non blindées	225
Figure I.6 – Exemple de réseau fictif asymétrique (AAN), incluant un réseau d'adaptation de source de 50 Ω sur l'accès de mesure de tension, destiné à être utilisé avec quatre paires symétriques non blindées	226
Figure I.7 – Exemple de réseau fictif asymétrique (AAN) destiné à être utilisé avec quatre paires symétriques non blindées	227

Figure I.8 – Exemple de réseau fictif (AN) destiné à être utilisé avec des câbles coaxiaux, utilisant une bobine d'arrêt de mode commun interne créée par un enroulement bifilaire d'un conducteur central isolé et d'un conducteur de blindage isolé sur un noyau magnétique commun (par exemple, un tore en ferrite)	228
Figure I.9 – Exemple de réseau fictif (AN) destiné à être utilisé avec des câbles coaxiaux, utilisant une bobine d'arrêt de mode commun interne créée par un câble coaxial miniature (câble coaxial à blindage de cuivre plein semi-rigide ou à blindage miniature à double tresse) enroulé sur des tores en ferrite.....	228
Figure I.10 – Exemple de réseau fictif (AN) destiné à être utilisé avec des câbles blindés multiconducteur, utilisant une bobine d'arrêt de mode commun interne créée par un enroulement bifilaire de plusieurs conducteurs de signaux isolés et un conducteur de blindage isolé sur un noyau magnétique commun (par exemple, un tore en ferrite).....	229
Figure I.11 – Exemple de réseau fictif (AN) destiné à être utilisé avec des câbles blindés multiconducteur, utilisant une bobine d'arrêt de mode commun interne créée par un enroulement d'un câble blindé multiconducteur sur des tores en ferrite	229
Tableau 1 – Durées de balayage minimales pour les trois bandes CISPR avec détecteur de crête et détecteur de quasi-crête	141
Tableau 2 – Temps de mesure minimaux pour les quatre bandes de la CISPR	141
Tableau A.2 – Conditions d'essai pour les types de matériel en essai – câble blindé	191
Tableau B. 1– Durée/fréquence de balayage ou vitesse de balayage la plus élevée	193
Tableau D 1 – Facteurs de suppression d'impulsion et vitesses de balayage pour une largeur de bande vidéo de 100 Hz	198
Tableau D.2 – Contrôleurs de période et largeurs de bandes vidéo correspondantes et vitesses de balayages maximales correspondantes	199
Tableau F 1 – Différence d'amplitude maximale entre les signaux détectés de crête et de quasi-crête.....	206
Tableau G 1 – Résumé des avantages et des inconvénients des méthodes décrites dans les paragraphes spécifiques de l'Annexe H	208
Tableau H 1 – Choix du mode opératoire de mesure des perturbations sur les accès de télécommunication	214
Tableau H.2 – Valeurs de a_{ACL}	215

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 2-1: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesures des perturbations conduites

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 16-2-1 porte le numéro d'édition 3.1. Elle comprend la troisième édition (2014-02) [documents CISPR/A/1053/FDIS et CISPR/A/1062/RVD] et son amendement 1 (2017-06) [documents CISPR/A/1168/CDV et CISPR/A/1201/RVC]. 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 16-2-1 a été établie par le sous-comité A du CISPR: Mesures des perturbations radioélectriques et méthodes statistiques.

Cette troisième édition constitue une révision technique.

Cette édition inclut les modifications techniques majeures suivantes par rapport à l'édition précédente: Des méthodes de mesure utilisant un nouveau type d'équipement d'appoint – dont l'acronyme est CDNE – ont été ajoutées.

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.

Le contenu du corrigendum d'août 2020 a été pris en considération dans cet exemplaire.

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

Partie 2-1: Méthodes de mesure des perturbations et de l'immunité – Mesures des perturbations conduites

1 Domaine d'application

La présente partie de la CISPR 16 est une norme de base qui spécifie les méthodes de mesure des phénomènes de perturbation dans la plage de fréquences de 9 kHz à 18 GHz, d'une manière générale, et plus spécifiquement des phénomènes de perturbation conduite dans la plage de fréquences de 9 kHz à 30 MHz. Le CDNE étend la plage de fréquences des mesures des perturbations conduites jusqu'à 300 Hz.

NOTE Conformément au guide 107 de l'IEC, la CISPR 16 est une norme CEM fondamentale à l'intention des comités de produits de l'IEC. Comme l'indique le Guide 107, les comités de produits sont chargés de déterminer l'applicabilité de la norme CEM. Le CISPR et ses sous-comités sont disposés à collaborer avec les comités de produits pour l'appréciation de la valeur des essais CEM particuliers dédiés aux produits spécifiques.

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 14-1, *Compatibilité électromagnétique – Exigences pour les appareils électro-domestiques, outillages électriques et appareils analogues – Partie 1: Émission*

CISPR 16-1-1:2010, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-1: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Appareils de mesure*

CISPR 16-1-2:2014, *Spécifications des méthodes et des appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Partie 1-2: Appareils de mesure des perturbations radioélectriques et de l'immunité aux perturbations radioélectriques – Dispositifs de couplage pour la mesure des perturbations conduites*

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

IEC 60050 (toutes les parties), *Vocabulaire Électrotechnique International* (disponible sous <<http://www.electropedia.org>>)